



УДК 524.7-77(083.8):52-14

РАДИОИСТОЧНИКИ С ПИКОМ НА ВЫСОКИХ ЧАСТОТАХ (HFP) ИЗ КАТАЛОГА AT20G И ИХ РАДИОСПЕКТРЫ

© 2026 Е. К. Майорова^{1*} , О. П. Желенкова¹ ¹ Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 15 мая 2024 года; после доработки 17 июня 2025 года; принята к публикации 29 августа 2025 года

Для изучения спектральных свойств радиисточников с высокочастотным пиком в спектре (High Frequency Peaker — HFP) была сформирована выборка источников из каталога AT20G, у которых спектральные индексы оптически толстой области излучения α_{below} превышают +0.5. В выборку вошло 269 радиисточников, из которых около 70% являются квазарами. С использованием базы данных CATS построены спектры источников и определены их основные параметры: спектральные индексы ниже и выше пика (α_{below} , α_{above}), пиковые частоты ν_{obs} , плотности потоков на пиковой частоте S_{peak} , полуширины пика в радиоспектрах. Спектральные плотности потоков источников были получены на разных телескопах и зачастую в разные эпохи наблюдений. Анализ спектров показал, что мы имеем дело с выборкой, состоящей из радиисточников HFP, чьи свойства достаточно однородны, а пиковые частоты $\nu_{\text{obs}} > 5$ ГГц. Большинство источников (67%) не имеют данных на частотах ниже 0.8 ГГц; 187 источников имеют ультраинвертированные спектры ($\alpha_{\text{below}} > +0.7$), что составляет 3.2% от всех источников каталога AT20G и 70% от всех источников нашей выборки. Расчеты показали, что выборка состоит из компактных объектов, радиосветимость которых на частоте 20 ГГц лежит в диапазоне 10^{23} – 10^{30} Вт/Гц, угловые размеры излучающих областей радиисточников составляют 0.002–0.25 мсд, линейные размеры — от 0.2 пк до 30 пк. Зависимость собственных пиковых частот радиисточников от их угловых размеров хорошо согласуется с обнаруженной ранее при наблюдениях источников CSS и GPS. На основе информации, предоставленной базой данных CATS, проведена оценка индексов переменности радиисточников. Переменность выше 25% обнаружена у семи квазаров, пять из которых являются квазарами. Сравнение зависимостей звездной величины в полосе R от красного смещения (z) выявило, что большинство HFP-галактик нашей выборки подчиняются соотношению Хаббла, полученному ранее для GPS-галактик, и могут быть кандидатами в «молодые» радиисточники.

Ключевые слова: галактики: квазары: общие сведения — радиоизлучение с непрерывным спектром: общие сведения

1. ВВЕДЕНИЕ

Радиисточники с выпуклыми спектрами, к которым относят компактные источники с крутым спектром (Compact Steep Spectrum — CSS), источники с пиком на частотах около 1 ГГц (Gigahertz-Peaked spectrum — GPS) и источники с высокочастотным пиком (High Frequency Peakers — HFP), имеют сходные радиосвойства, что обусловлено подобием путей их эволюции. Все они считаются предшественниками радиогромких галактик, однако различаются такими характеристиками, как степень компактности, радиосветимость и частота спектрального максимума (пика). Пик спектра ν_{max} источников CSS приходится на частоты менее 0.5 ГГц, у источников GPS

он лежит в диапазоне 0.5–5 ГГц, а для HFP $\nu_{\text{max}} > 5$ ГГц; размеры составляют от 1 до 20 кпк у CSS-источников и менее 1 кпк у источников GPS/HFP. Считается, что HFP — предшественники GPS, которые, в свою очередь, развиваются в CSS-объекты. Конечным этапом развития популяции GPS- и CSS-радиисточников являются радиогалактики FRI и FRII. Изучение радиисточников с пиком в радиоспектре на гига- и мегагерцах важно для понимания эволюции радиогалактик и их активных ядер, а также влияния на этот процесс межзвездной среды.

На ранних этапах эволюции радиисточника радиоизлучение джета взаимодействует с неоднородной и достаточно плотной межзвездной средой вблизи активного ядра. В дальнейшем оно оказывается в более разреженной межгалактической среде, что приводит к образованию протяженных

*E-mail: len@sao.ru

радиоисточников, размеры которых в некоторых случаях достигают нескольких мегапарсек. В таком сценарии размер радиоисточника указывает на стадию его эволюции и возраст.

Пик в континуальном радиоспектре у GPS/HFP-источников обычно связывают с синхротронным самопоглощением¹⁾ (synchrotron self-absorption — SSA) в пределах небольшой области радиоизлучения (Fanti et al., 1990; Snellen et al., 2000) или со свободно-свободным (free-free) поглощением (Tingay and de Kool, 2003a; Vermeulen et al., 2003).

Форма спектра с максимумом на частотах от 0.5 до десятков ГГц является характерным признаком «молодости» компактных радиоисточников. Они отличаются высокой радиосветимостью (до 10^{29} Вт/Гц), малыми размерами (менее 1 кпк), слабой переменностью в радиодиапазоне (менее 10% в год) и низкой степенью поляризации (Rudnick and Jones, 1982; O’Dea et al., 1991; O’Dea, 1998; Tinti et al., 2005). Предполагается, что у самых молодых радиоисточников переменность может наблюдаться в оптически толстой области излучения в результате их эволюции (Orienti and Dallacasa, 2008) или изменений свойств поглощающего вещества, через которое проходит излучение (Tingay and de Kool, 2003b).

Вследствие недолговечности стадии развития молодые радиоисточники редки. При этом они являются идеальными объектами для изучения и понимания процессов, происходящих на ранних стадиях эволюции радиоисточника.

Согласно «молодежному» сценарию, описанному O’Dea (1998), а также Fanti et al. (1995), Readhead et al. (1996), Snellen et al. (2000), существует связь между возрастом источника и частотой пика в спектре, так что самые молодые следует искать среди тех радиоисточников, спектр которых достигает максимума на частотах выше нескольких ГГц. Наиболее подходящими кандидатами в молодые радиоисточники являются источники HFP, у которых частота пика значительно выше 5 ГГц.

Наряду с «молодежным» существует и альтернативный сценарий, объясняющий малые размеры радиоисточников внешним давлением, которое препятствует их расширению за пределы галактического центра. В этом сценарии, известном как сценарий фрустрации (van Breugel, 1984; Baum et al., 1990; O’Dea et al., 1991), старый источник остается небольшим по размеру в пределах родительской галактики из-за аномально плотной межзвездной среды, препятствующей его расширению.

¹⁾ Синхротронное самопоглощение — рассеяние фотонов на синхротронных электронах.

Однако никаких наблюдательных данных о наличии необычайно плотной среды, подтверждающих эту гипотезу, пока не получено (Fanti et al., 2000; Siemiginowska et al., 2005).

Согласно эволюционным моделям, компактные источники развиваются в популяцию протяженных радиоисточников (Fanti et al., 1995; Readhead et al., 1996; Snellen et al., 2000). При этом, по мере расширения источника, вследствие уменьшения плотности энергии внутри излучающей области, пик радиоспектра постепенно смещается в сторону более низких частот, а излучающая среда становится более оптически тонкой. Однако часть таких источников может закончить свое существование на ранних стадиях эволюции, не достигнув крупных размеров (Alexander, 2000; Marecki et al., 2003).

В основном у GPS-источников с компактной радиоморфологией наблюдается низкий уровень протяженного излучения (меньше 1 мЯн), за исключением «перезапущенных», или рекуррентных, радиоисточников, которые демонстрируют диффузное и слабое протяженное излучение на шкале от угловых секунд до угловых минут вокруг ядра (Baum et al., 1990; Stanghellini et al., 1990b). Гипотеза рекуррентности, предложенная Baum et al. (1990), предполагает, что протяженное излучение может быть остатком излучения от предыдущей активности радиоисточника, в то время как пиковый спектр обусловлен молодым центральным компонентом. Рекуррентная модель лучше подходит для радиогалактик (Tinti et al., 2003).

При отождествлении GPS-источников в оптическом диапазоне наблюдаются, как правило, объекты двух видов, отличающиеся и по своим радиосвойствам: GPS-галактики и GPS-квазары. На изображениях с высоким пространственным разрешением они обычно демонстрируют разную радиоморфологию. У квазаров чаще наблюдается асимметричная конфигурация «ядро—джет», в то время как галактики являются симметричными объектами (CSOs) с двух- или трехкомпонентной структурой. При малом угле ориентации джета относительно наблюдателя морфология «ядро—джет» на масштабах парсека указывает на то, что источник является блазаром. Отметим, что блазары могут демонстрировать выпуклые спектры в момент вспышек, когда в спектре начинает доминировать самопоглощающий синхротронный компонент, возникший в основании джета. Это приводит к «загрязнению» выборок молодых компактных радиоисточников и является одной из проблем формирования таких выборок.

Мы предприняли попытку поиска радиоисточников с максимумами в спектре среди источни-

ков, наблюдавшихся в обзоре AT20G²⁾ на частоте 20 ГГц. Формированию выборки таких источников и изучению их спектральных характеристик посвящена данная работа.

Организована она следующим образом. В разделе 2 дана краткая информация об обзоре и каталоге AT20G. Раздел 3 описывает формирование выборки кандидатов в GPS/HFP-объекты. Определение параметров и анализ спектров представлены в разделах 4 и 5. GPS-галактики и GPS-квезары обсуждаются в разделе 6. В разделе 7 речь идет об источниках с ультраинвертированными спектрами. Раздел 8 содержит обсуждение радиосветимости объектов выборки. Угловые размеры излучающих областей галактик выборки рассматриваются в разделе 9. В разделе 10 приводится анализ зависимости «звездная величина — красное смещение» для объектов выборки, а переменность их радиоизлучения обсуждается в разделе 11. В заключительном разделе 12 кратко суммируются результаты работы.

2. ОБЗОР AT20G

Обзор AT20G — слепой обзор Южного неба на частоте 20 ГГц, который проводился компактной антенной решеткой ATCA (Telescope Compact Array) с 2004 по 2008 год. Обзор охватывал почти все Южное небо (6.1 ср), за исключением полосы $|b| < 1^\circ.5$. По наблюдениям как в полной интенсивности, так и в поляризации было обнаружено 5890 источников. Для получения надежной информации о спектральных индексах источников практически одновременно проводились наблюдения на частотах 4.8 и 8.6 ГГц. Подробная информация об исследованиях AT20G дана в работах Murphy et al. (2010), Hancock et al. (2011) и Massardi et al. (2011).

Каталог AT20G³⁾, составленный по результатам обзора, содержит (после исключения галактических облаков, планетарных туманностей и HII-областей) 5808 источников на частоте 20 ГГц и дает самое полное представление о высокочастотной популяции радиоисточников. Он включает на порядок больше источников, чем предшествующие каталоги на высоких частотах, и состоит преимущественно из активных ядер галактик, излучающих в радиодиапазоне (Massardi et al., 2011; Murphy et al., 2010). Каталог имеет предел спектральной плотности потока⁴⁾ 40 мЯн на

частоте 20 ГГц, полнота каталога на этой частоте составляет 91%.

Обзор AT20G дает богатый материал для поиска молодых источников. В настоящей работе мы использовали каталог AT20G для формирования выборки кандидатов в GPS/HFP.

3. ВЫБОРКА КАНДИДАТОВ В GPS/HFP-ОБЪЕКТЫ

Характерной особенностью источников GPS/HFP является форма спектра, названного «классическим», или «каноническим» (de Vries et al., 1997). Такой спектр соответствует теоретическому спектру компактного радиоисточника с однородным распределением частиц и магнитного поля синхротронного излучения с самопоглощением на низких частотах.

При отборе кандидатов в GPS/HFP-объекты мы использовали критерии «канонического» спектра из работ Kellermann and Pauliny-Toth (1981a), O’Dea et al. (1991), de Vries et al. (1997), согласно которым спектральные индексы α_{below} и α_{above} равны соответственно +0.5 и -0.7. Индексы α_{below} и α_{above} характеризуют оптически толстую и оптически тонкую области излучения. Еще одним параметром, рассматриваемым в качестве критерия канонического спектра, является ширина спектра по уровню половины мощности излучения, $FWHM$ ⁵⁾. В работах O’Dea et al. (1991), de Vries et al. (1997), Edwards and Tingay (2004) $FWHM$ принималась равной примерно 1.2 декады частоты.

Ограничения на частоту пика для GPS-источников обычно устанавливаются в диапазоне $0.5 < \nu_{\text{obs}} < 5$ ГГц. Объекты с частотами пика $\nu_{\text{obs}} > 5$ ГГц относят к классу HFP (Dallacasa et al., 2000; Mingaliev et al., 2013). Sotnikova et al. (2019) в качестве HFP-источников рассматривают объекты с пиковой частотой $\nu_{\text{int}} > 5$ ГГц, где ν_{int} — частота пика в системе отсчета источника.

При формировании выборки кандидатов в GPS/HFP основным критерием было выполнение условия $\alpha_{\text{below}} \geq +0.5$. Исходя из этого критерия, мы проанализировали спектральные индексы α_{20}^1 , α_{20}^5 , α_9^5 и α_{20}^9 радиоисточников из каталога AT20G, где α_{20}^1 — спектральный индекс между частотами 1 и 20 ГГц, α_{20}^5 — между 4.8 и 20 ГГц, α_9^5 — между 4.8 и 8.6 ГГц, α_{20}^9 — между 8.6 и 20 ГГц. В качестве кандидатов отбирались источники, у которых величины перечисленных спектральных индексов не меньше +0.5. Далее строились спектры этих источников с учетом информации о плотностях

²⁾Australian Telescope 20HGz (AT20G) survey <https://www.atnf.csiro.au/projects/science/wide-area-surveys/at20g/>

³⁾В Интернете каталог AT20G доступен через Vizier: <http://vizier.u-strasbg.fr>

⁴⁾Далее — плотности потока.

⁵⁾ $FWHM = \lg \nu_1 - \lg \nu_2$, где ν_1 и ν_2 — частоты, на которых плотности потоков равны $0.5 S_{\text{peak}}$.

их потоков из базы данных CATS⁶⁾ (Verkhodanov et al., 1993; 2005).

На первоначальном этапе для просмотра спектров использовался графический интерфейс базы данных CATS. Из порядка 1000 просмотренных спектров источников для дальнейшего анализа было отобрано 620 источников. Остальные были отклонены, так как не удовлетворяли требованиям уже на этапе визуального контроля.

Далее осуществлялось построение спектров с использованием программы *spg*, которая предназначена для построения и анализа спектров. Эта программа входит в пакет FADPS (Verkhodanov, 1997) системы обработки радиоастрономических данных на радиотелескопе РАТАН-600. Примеры спектров приведены в Приложении (рис. А1). Спектры источников аппроксимировались параболическими или линейными функциями в логарифмическом масштабе. Спектральные индексы α_{below} определялись путем аппроксимации низкочастотной области спектров (ниже пика) линейными функциями в логарифмическом масштабе.

В окончательную выборку вошло 269 радиоисточников с пиковыми или инвертированными спектрами, у которых спектральный индекс оптически толстой области излучения $\alpha_{\text{below}} \geq +0.5$. Среди них 180 квазаров, 70 галактик, 10 планетарных туманностей (PNe), две звезды (S), одна область ионизованного водорода (HII) и один молодой звездный объект (YSO); информацию о пяти источниках не удалось найти. Отметим, что в дальнейшем при анализе параметров спектров объекты PNe, S и YSO не учитывались. Некоторые радиоисточники выборки отождествлены неуверенно или не идентифицированы с оптическими объектами. Список радиоисточников, вошедших в выборку, представлен в колонке (1) таблицы 1.

4. ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СПЕКТРОВ

Определялись следующие параметры спектров радиоисточников: частота максимума в системе отсчета наблюдателя ν_{obs} , спектральные индексы α_{below} и α_{above} , величина плотности потока на пиковой частоте S_{peak} , полуширина спектров $FWHM$, выраженная в декадах частоты. При наличии данных о красном смещении источника рассчитывалась ν_{int} — частота максимума в системе отсчета источника.

Частота ν_{obs} , $FWHM$ спектров и плотности потока на пиковой частоте определялись путем аппроксимации спектра источника параболической

функцией в логарифмическом масштабе (лог-параболической функцией):

$$\lg S_{\nu} = a(\lg \nu)^2 + b \lg \nu + c,$$

где S_{ν} — плотность потока на частоте ν ; a , b , c — коэффициенты, полученные методом наименьших квадратов. Индексы α_{below} и α_{above} определялись ниже и выше пика путем аппроксимации высокочастотной и низкочастотной областей спектров линейными функциями в логарифмическом масштабе.

Для источников со значительной переменностью аппроксимация осуществлялась по огибающей выпуклого спектра. Для инвертированных спектров без максимума использовалась линейная аппроксимация в логарифмическом виде. Из-за отсутствия информации о плотностях потоков на частотах выше 20 ГГц величина α_{above} была определена не у всех источников выборки. По этой же причине у ряда источников значения α_{above} дают представление лишь о двухчастотном спектральном индексе α_{20}^9 или α_{95}^{20} .

При определении параметров спектров применялась система обработки радиоастрономических данных FADPS (Verkhodanov et al., 1993; Verkhodanov, 1997). Результаты оценок параметров ν_{obs} , α_{below} , α_{above} , $FWHM$, S_{peak} и ν_{int} спектров радиоисточников нашей выборки представлены в таблице 1.

Использование неоднородных наблюдательных данных, полученных на разных инструментах и в разные эпохи наблюдений, в ряде случаев приводит к сложности в аппроксимации спектров. Поэтому для некоторых источников указываются параметры спектров для двух вариантов аппроксимации.

Звездочкой (*) в колонке (1) таблицы 1 помечены источники, имеющие данные о плотностях потоков в низкочастотной области спектра из каталогов GLEAM (Hurley-Walker et al., 2017) и TGSS (Intema et al., 2017). В этой части спектра они имеют отрицательный спектральный индекс, что свидетельствует о наличии протяженного нетеплового радиоизлучения симметричных структур (долей) на масштабах от десятков кпк до мпк. Среди этих источников могут быть «перезапущенные» HFR-радиоисточники.

В колонке (14) таблицы 1 приведены примечания. Обозначения следующие:

- at — данные о плотностях потоков источников имеются только на частотах обзора AT20G (4.8, 8.6 и 20 ГГц), 3f — данные только на трех частотах;
- PL — имеются данные каталога Planck (Ade et al., 2014);

⁶⁾<https://www.sao.ru/cats/>, for description see https://www.sao.ru/cats/doc/CATS_Russian.html

Таблица 1. Характеристики и спектральные параметры источников выборки. В колонках: (1) — имя объекта; (2) и (3) — спектральные индексы ниже и выше частоты пика, α_{below} и α_{above} соответственно; (4) — $FWHM$ в декадах частоты; (5) и (6) — частота пика в системе отсчета наблюдателя ν_{obs} и в системе отсчета источника ν_{int} ; (7) — спектральная плотность потока S_{peak} на частоте пика; (8) — угловой размер области образования излучения θ ; (9) — радиосветимость L_{ν} ; (10) — красное смещение z (из NED Helou et al., 1995), Simbad (Wenger et al., 2000), NOIR DataLab (Olsen et al., 2019), SDSS и Vizier (Ochsenbein et al., 2000); (11) — спектроскопические (s) и фотометрические (p) красные смещения; (12) — тип родительского объекта (согласно Simbad и NED): G — галактика, Q — квазар, Bz — блазар, BL — лацетиды, PNe — планетарная туманность, H II — область ионизованного водорода, S — звезда, YSO — молодой звездный объект; (13) — тип радиоисточника: FSRQ — радиоквазар с плоским спектром ($-0.5 < \alpha < 0$, $S \sim e^{\alpha}$) по классификации Massaro et al. (2009), FSRS — радиоисточник с плоским спектром, «?» указывает на неуверенное определение типа; (14) — примечания (подробнее см. в разделе 4)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	$FWHM$	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц ⁻¹	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J001948–173446*	0.60 ± 0.04	–	–	98.0	–	0.22	–	–	–	–	Q	–	–
J002343–593032	0.80 ± 0.11	–0.20	1.4	8.6	14.4	0.11	–	1.6e26	0.677	p	Q	–	–
J002442–420203	0.97 ± 0.12	–1.19 ± 0.07	1.4	2.0	3.9	2.8	–	1.5e28	0.937	s	Q	–	–
J002514–094200	0.99 ± 0.10	–0.44	1.3	8.9	–	0.08	–	–	–	–	G?	–	–
J002616–351249	1.40 ± 0.11	–0.85 ± 0.03	1.2	20.1	60.2	0.80	0.07	3.4e28	1.996	s	G/Bz?	FSRS	t9
J002628–740020	0.92 ± 0.04	–	–	16.0	–	0.09	–	–	–	–	Q?	–	–
J002705–050350	0.70 ± 0.02	–0.48	1.4	9.0	15.8	0.07	0.06	1.4e26	0.75	p	G	–	–
J003033–581914*	1.02 ± 0.30	–	–	12.6	14.8	0.06	0.03	–	0.1740	s	G	–	3f
J003207–154132	0.69 ± 0.05	–	–	15.6	25.5	0.11	–	–	0.635	s	Q	FSRS	–WISH
J003816–012204	0.94 ± 0.16	–	–	10.8	23.9	0.12	–	–	1.2149	s	Q	–	–
J004417–375259*	0.69 ± 0.06	–	–	34.6	51.4	0.11	–	–	0.483	s	Q/Bz	FSRQ	–
J004905–552110	0.72 ± 0.02	–	–	22.0	23.4	0.09	0.02	–	0.063	s	G	–	–
J004937–705211	0.76 ± 0.07	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	–	–
J005920–612647*	0.74 ± 0.004	–	–	11.8	27.1	0.08	–	–	1.294	p	Q	–	–
J011102–474911	0.63 ± 0.02	–0.50	1.3	27.1	31.3	0.09	0.02	5.9e24	0.1542	s	G	–	t9, –SUM
"	0.49 ± 0.07	–	1.6	31.4	36.2	0.07	–	–	"	"	"	–	+SUM
J012346–092304*	0.90 ± 0.27	–0.59	1.3	5.5	6.2	0.18	0.17	1.0e25	0.1427	s	G	FSRS?	–
J012407–730904	0.56 ± 0.05	–0.09 ± 0.06	1.6	6.5	6.5	0.11	–	7.3e19	5.3E–4	s	HII	FSRS	PL
J012744–345755	1.16 ± 0.01	–0.54 ± 0.14	1.3	7.8	24.7	0.08	–	1.5e27	2.163	s	Q	FSRS	–SUM
"	0.79 ± 0.07	–0.54 ± 0.14	1.4	9.9	31.2	0.07	–	1.3e27	"	"	"	"	+SUM
J013210–795905	0.50 ± 0.002	–0.54 ± 0.16	1.5	5.0	10.4	0.07	–	3.3e26	1.077	p	Q	FSRS	–
J013658–133534*	0.51 ± 0.09	–	–	–	–	–	–	–	1.126	p	Q	–	–
J013707–244447	0.85 ± 0.07	–0.42 ± 0.12	1.4	11.9	24.5	0.09	–	3.8e26	1.05	s	Q	–	–

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	$FWHM$	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц $^{-1}$	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J014207–420601*	0.49 ± 0.04	-0.46 ± 0.13	1.6	18.3	33.8	0.10	–	2.6e26	0.842	p	Q?	–	–
J014225–572957*	0.71	–	–	13.5	23.9	0.08	–	–	0.773	p	Q	–	at
J014310–320055*	0.50 ± 0.15	-0.48 ± 0.17	1.5	36.2	49.8	0.51	–	2.3e26	0.3751	s	Q/Bz	FSRS	–
J015719–382944*	0.73 ± 0.12	-0.51 ± 0.09	1.5	23.1	43.5	0.16	–	4.9e26	0.888	p	Q/Bz?	–	–
J015913–470614	0.76 ± 0.15	-0.33 ± 0.06	1.4	8.3	14.2	0.08	–	1.4e26	0.713	p	Q	FSRS	–
J015949–085000*	0.66 ± 0.14	–	–	–	–	–	–	–	0.4052	s	G–	–	–
J020051–154237	0.95 ± 0.11	-0.79 ± 0.23	1.3	7.5	15.0	0.17	–	8.4e26	1.014	p	Q/Bz?	FSRS?	–
J020835–173934*	0.75 ± 0.25	–	–	10.7	12.1	0.24	0.08	–	0.129	s	G	–	–
J021229–255818	1.13 ± 0.14	–	–	11.8	–	0.07	–	–	–	–	G?	–	–
J023111–474612*	0.72 ± 0.21	-0.53 ± 0.04	1.5	29.5	52.1	0.46	–	1.0e27	0.765	s	Q/Bz	–	–
J023611–420337	1.25	–	–	15.9	36.4	0.10	0.04	–	1.283	p	G?	–	at, t8
J024709–281049*	0.70 ± 0.09	–	–	29.0	52.3	0.14	–	–	0.803	p	Q	–	t9
J024710–632537	0.85 ± 0.02	–	–	16.6	18.3	0.09	0.03	–	0.101	p	G	–	–
J025055–361635	1.48 ± 0.15	–	–	25.5	43.9	0.32	–	–	0.7246	s	Q/Bz?	–	t9
J025822–332705	0.86 ± 0.14	–	–	19.4	43.0	0.10	0.03	–	1.216	p	G	–	–SUM
"	0.83 ± 0.09	–	–	63.0	139.6	0.13	–	–	"	"	"	–	+SUM
J025928–001959*	0.68 ± 0.04	–0.62	1.5	19.4	58.2	0.87	–	1.7e28	1.9999	s	Q/Bz	–	–
J030036–704448	0.74 ± 0.03	–0.47	1.4	5.7	21.2	0.09	–	2.9e27	2.725	p	Q	FSRS	–
J030406–450342	1.08	–	–	15.7	31.4	0.06	–	–	1.0	s	Q	–	at, t8
J030457–603555	1.10 ± 0.02	–	–	17.9	40.6	0.10	–	–	1.269	p	Q	–	–
J032213–345832*	0.48 ± 0.11	–	–	–	–	–	–	–	0.95	p	Q	–	–
J032743–180342*	0.79 ± 0.08	–	–	13.2	26.6	0.23	–	–	1.015	p	Q/Bz?	–	–
J033332–052301	0.62 ± 0.06	–	–	5.9	18.3	0.08	0.03	–	0.153	p	G/BL	FSRS	–
J033427–015358	0.95 ± 0.09	–	–	–	–	–	–	–	1.48	s	G	–	–
J033540–311901*	0.71 ± 0.02	–	–	14.5	24.3	0.17	–	–	0.68	p	Q	–	–
034258–431813	1.55	–	–	12.4	13.8	0.13	–	–	0.119	p	Q	–	3f, t8
J034650–771437	0.63 ± 0.19	–	–	19.8	–	0.05	–	–	–	–	G/BL?	–	+SUM
034941–540106	0.92 ± 0.08	–0.31	1.3	6.2	6.6	0.13	0.12	1.5e24	0.068	s	G	–	–

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	$FWHM$	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц $^{-1}$	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J040019–225624*	0.50 ± 0.02	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q/Bz?	FSRS	–
"	1.03 ± 0.05	–	1.3	14.2	–	0.25	–	–	–	–	"	"	–
J040039–575712	0.60 ± 0.14	–0.34	1.5	7.8	18.2	0.07	–	4.6e26	1.349	p	Q	–	–
J040106–160640	0.64 ± 0.19	–	–	23.2	23.9	0.44	0.04	–	0.032	s	G/Bz	–	–
J040438–041655	0.55 ± 0.13	–	–	–	–	–	–	–	0.687	p	G?	–	–
J040446–294012*	1.52 ± 0.22	–	–	11.4	26.4	0.08	–	–	1.317	p	Q	–	–VLAS
"	0.68 ± 0.06	–	–	16.8	38.9	0.06	–	–	"	"	"	–	+VLAS
J041514–402341*	0.80 ± 0.07	–	–	23.3	55.6	0.12	–	–	1.389	s	Q/Bz	–	–
J041959–563611	0.51	–0.57	1.5	4.5	11.5	0.07	–	7.4e26	1.529	p	Q/Bz?	FSRS	–
J042119–672902	0.78	–	–	12.7	28.6	0.14	–	–	1.253	p	Q?	–	–SUM
"	0.40 ± 0.05	–	–	59.1	133.2	0.14	–	–	"	"	"	–	+SUM
J042203–562127	0.58 ± 0.13	–0.13	1.5	9.0	9.3	0.10	0.06	3.5e23	0.038	s	G	–	–
J042810–435746	0.87 ± 0.12	–0.50	1.4	18.7	46.2	0.10	–	9.1e26	1.472	p	Q?	–	t9
J042810–643823*	0.51 ± 0.09	–0.51	1.4	23.7	–	0.34	–	–	–	–	Q/Bz?	–	–
J043121–575005	1.34 ± 0.02	–0.52	1.3	7.5	–	0.11	–	–	–	–	G?	FSRS?	–
J043229–161405*	0.94 ± 0.18	–0.38	1.3	7.8	–	0.35	–	–	–	–	Bz?	–	–
J043429–234205*	0.91 ± 0.23	–0.63 ± 0.19	1.3	5.8	11.5	0.15	–	6.1e26	0.979	s	Q/BL	FSRS	TGSS
J044023–473218	1.39 ± 0.02	–	1.3	37.3	74.8	0.07	–	–	1.004	p	Q?	–	t89
J044047–695217	0.64 ± 0.06	–0.48 ± 0.03	1.4	37.7	112.7	0.92	–	1.5e28	1.989	p	Q	FSRS	–
J044245–681838	0.66 ± 0.06	–	–	37.6	73.8	0.07	0.01	–	0.964	s	G	–	–
J044854–291612	0.87 ± 0.02	–	–	10.5	26.9	0.16	–	–	1.567	p	Q	–	–
J050210–205717*	0.47 ± 0.13	–	–	–	–	–	–	–	1.025	p	Q/Bz	FSRS	–
J050555–293038*	0.83 ± 0.24	–0.79 ± 0.33	1.3	6.0	28.6	0.54	–	5.4e28	3.75	s	Q/Bz	FSRQ	–
J050732–510416	1.44 ± 0.19	–0.29 ± 0.02	1.2	45.2	69.2	0.15	–	1.3e26	0.529	s	Q	–	t9, –SUM, PL
J051321–212821*	0.92 ± 0.30	–	–	–	–	–	–	–	0.356	s	G	FSRS	–
J052350–441238	1.18 ± 0.23	–0.33	1.3	8.2	14.3	0.16	–	3.0e26	0.746	p	Q	FSRS?	–
J053009–085132	1.26 ± 0.26	–0.23	1.3	9.7	–	0.11	–	–	–	–	Q?	–	–
J054000–412746	0.72 ± 0.11	–	–	8.6	19.5	0.13	–	–	1.253	p	Q	–	–
J054121–021108	0.86 ± 0.07	–	–	–	–	–	–	–	–	–	YSO	–	–

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	$FWHM$	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц ⁻¹	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J054417–641914	0.93	–	–	31.4	64.3	0.13	–	–	1.047	p	Q	–	3f, t89
J054750–672801	1.11 ± 0.12	–0.43 ± 0.04	1.3	8.4	16.7	0.10	–	3.8e26	1.01	s	Q/Bz	–	–
J054828–331331	0.87 ± 0.11	–	–	33.6	35.0	0.06	0.01	–	0.0408	s	G	–	–
J061540–011905	1.04 ± 0.29	–0.70	1.3	5.6	–	0.16	–	–	–	–	G?	–	–
J061826–533933	0.76	–0.69 ± 0.18	1.3	4.7	8.0	0.16	–	3.1e26	0.695	p	Q/Bz	FSRS?	–
J063004–551751	1.28	–0.54	1.3	6.7	7.0	0.08	0.09	6.8e23	0.0579	s	G	–	–
J063345–135007	1.26 ± 0.15	–	–	32.9	–	0.08	–	–	–	–	G?	–	–
J063550–354658	0.86 ± 0.05	–	–	12.9	35.7	0.09	–	–	1.769	p	Q	FSRS	–
J064929–592034	1.32 ± 0.35	–0.62 ± 0.12	1.3	7.3	24.0	0.16	–	4.2e27	2.272	s	Q/Bz	FSRS?	–
J065057–651011	0.51	–0.29	1.5	6.0	16.5	0.17	–	1.8e27	1.756	p	Q	FSRS	–
J065532–171554	1.49 ± 0.19	–0.36	1.3	8.0	–	0.07	–	–	–	–	G?	–	–
J065613–344658*	0.73 ± 0.07	–	–	43.8	–	0.12	–	–	–	–	G?	–	–
J070903–785725	0.88	–0.63	1.3	4.8	–	0.13	–	–	–	–	G?	FSRS?	–
J070949–381152	1.80	–	–	20.6	23.2	0.09	0.02	–	0.126	s	G/Q	–	at, t89
"	1.01	–	–	14.5	16.3	0.09	–	–	"	"	"	–	–
J071116–195103	1.11 ± 0.08	–0.44 ± 0.07	1.3	8.6	8.7	0.17	–	2.7e22	0.0081	p	PNe	–	–
J073630–041243	1.06 ± 0.14	–	–	71.5	–	0.15	–	–	–	–	Q?	–	–
JJ073940–291118	1.10 ± 0.12	–	–	26.2	–	0.12	–	–	–	–	Q	–	t9
J074109–544746	0.63 ± 0.15	–	–	–	–	–	–	–	0.1058	s	G	–	–
J074554–004417*	0.72 ± 0.08	–0.63 ± 0.09	1.5	7.7	15.3	1.55	–	6.6e27	0.996	s	Q/Bz	FSRS	–
J080633–291135	1.19 ± 0.13	–0.77 ± 0.01	1.3	5.0	–	0.27	–	–	–	–	Q?	–	–
J080931–472011	0.80 ± 0.11	–	–	42.9	42.9	0.10	–	–	5.0E-5	s	S	–	t89, PL
J081849–663400	0.81 ± 0.18	–	–	10.4	21.3	0.12	–	–	1.055	p	Q	–	–
J082425–573631	0.83	–0.41 ± 0.10	1.2	10.6	–	0.07	–	–	–	–	?	–	3f
J083046–170635	1.21 ± 0.14	–	–	49.7	–	0.30	–	–	–	–	Q/Bz?	–	t9
J083529–595311	0.88 ± 0.09	–0.34 ± 0.08	1.4	38.5	–	0.51	–	–	–	–	Q	FSRS	t9, PL
J083619–313331	0.93 ± 0.15	–	–	13.6	–	0.12	–	–	–	–	Q?	–	–
J083821–071336	0.61 ± 0.08	–	–	–	–	–	–	–	0.117	p	G	–	–
J084009–835432	0.76 ± 0.18	–0.53 ± 0.16	1.4	4.8	8.3	0.18	0.22	3.6e26	0.7344	s	G	FSRS	–

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	<i>FWHM</i>	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц ⁻¹	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J084328–460641	0.65 ± 0.09	–	–	12.1	–	0.11	–	–	–	–	PNe	–	–
J084511–652722	1.67 ± 0.09	–0.82 ± 0.26	1.3	7.9	26.0	0.43	–	1.4e28	2.274	s	Q	–	–
J084642–145620	0.92 ± 0.20	–	–	9.1	14.7	0.14	–	–	0.605	p	Q	–	–
J085054–735144*	0.63 ± 0.14	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	–	–
J085206–245534	2.03 ± 0.08	–	–	12.9	–	0.10	–	–	–	–	Q?	–	–
J090044–313128	0.71 ± 0.11	–	–	10.9	15.8	0.15	–	–	0.4528	s	Q	FSRS	–
J090420–311126*	0.66 ± 0.05	–0.59 ± 0.08	1.5	52.5	–	0.39	–	–	–	–	Q/Bz?	FSRS	–
J090559–212012	1.14 ± 0.03	–	–	19.7	36.6	0.08	–	–	0.854	p	Q	–	–
J091900–253350	1.83 ± 0.07	–0.59	1.2	7.0	8.0	0.11	0.09	6.6e24	0.148	p	G	–	–
J092051–872156	0.57	–0.46 ± 0.13	1.4	4.9	–	0.08	–	–	–	–	Q?	–	–
J093102–101325*	0.62 ± 0.04	–0.32 ± 0.11	1.5	6.6	9.9	0.12	–	9.2e25	0.496	p	Q/BL	FSRS	TGSS, PL
J093533–685722	0.96	–0.19	1.4	8.5	14.7	0.09	–	1.5e26	0.727	p	Q	–	–
J093716–392518	0.74 ± 0.11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G?	–	–
J094219–231703*	0.49 ± 0.05	–	–	–	–	–	–	–	1.547	s	Q	–	–
J094258–604621	0.59	–	–	–	–	–	–	–	0.586	s	G	–	–
J095159–183703	1.21 ± 0.09	–	–	13.3	–	0.08	–	–	–	–	G?	–	t8
J095440–594546	0.61 ± 0.05	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G?	–	–
J095612–643928	0.50 ± 0.04	–	–	–	–	–	–	–	0.803	p	Q	–	–
J095633–404454*	0.99 ± 0.01	–	–	–	–	–	–	–	1.414	s	Q	–	t9
J095727–015655	0.54	–0.47 ± 0.02	1.4	6.8	12.6	0.15	–	1.4e26	0.86	s	Q/Bz	FSRQ	–
J095744–153246	0.65 ± 0.09	–	–	14.5	40.5	0.07	0.04	–	1.787	s	G	FSRS	–
J101112–221644	0.66 ± 0.18	–	–	–	–	–	–	–	0.793	p	Q	–	t9
J101209–370129	0.46 ± 0.03	–0.04	1.6	12.1	–	0.07	–	–	–	–	G?	–	–
J101537–045440	0.52 ± 0.03	–	–	24.6	57.2	0.05	–	–	1.327	p	Q?	–	–
J101956–002412	0.63 ± 0.07	–	–	30.0	63.7	0.06	–	–	1.125	s	Q/Bz	FSRS	–
J102309–603240	0.60	–0.20 ± 0.02	1.5	7.1	–	0.17	–	–	–	–	PNe	–	–
J103003–192123	0.78 ± 0.15	–	–	10.5	15.7	0.06	–	–	0.5	p	Q	–	–
J103504–173008*	0.91 ± 0.19	–	–	13.0	29.2	0.07	–	–	1.243	p	Q/Bz?	–	TGSS
J103827–564707	0.57	–0.07	1.5	8.0	–	0.12	–	–	–	–	PNe	–	–

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	$FWHM$	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц $^{-1}$	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J104227–210556	1.66	–	–	–	–	–	–	–	–	–	?	–	t8
J104416–535437	0.54	–0.51	1.5	5.5	–	0.08	–	–	–	–	G	–	–
J110019–651457	0.94 ± 0.10	–	1.3	9.2	9.2	0.21	–	–	6.7E-5	s	PNe	–	–
J110317–512203	0.66 ± 0.06	–0.45	1.3	9.5	–	0.10	–	–	–	–	Q?	–	3f
J110436–540055	0.93	–0.47	1.4	5.6	–	0.08	–	–	–	–	Q	–	–
J110828–123121	1.17 ± 0.11	–0.18	1.3	8.0	29.6	0.06	–	1.3e27	2.687	p	Q/BL	–	–
J110918–481518*	0.50 ± 0.03	-0.46 ± 0.04	1.5	44.0	173.2	0.36	–	1.3e28	2.937	p	Q/Bz?	FSRS	PL
J110957–373220*	0.84	–	–	48.6	49.1	0.08	0.01	–	0.0101	s	G	FSRS	–
J111015–665531	1.28 ± 0.06	–	–	23.8	–	0.14	–	–	–	–	Q	–	3f, t89
J111228–625857	0.73 ± 0.01	–	–	26.8	–	0.16	–	–	–	–	G	–	–
J111246–203932	1.80 ± 0.05	–	–	48.8	–	0.12	–	–	–	–	G?	–	t89
J111430–860325	0.53 ± 0.12	-0.46 ± 0.13	1.5	5.6	–	0.15	–	–	–	–	Q?	FSRS	–
J111605–263758	1.75 ± 0.10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G?	–	t89
J111719–483809*	0.49 ± 0.07	-0.25 ± 0.07	1.4	29.2	–	0.17	–	–	–	–	Q/Bz	–	–
J112120–172242	1.12 ± 0.16	-0.90 ± 0.10	1.3	6.1	12.1	0.21	–	1.1e27	0.986	s	Q/BL	–	–WISH
"	0.84 ± 0.05	"	1.5	5.8	11.5	0.18	–	–	"	"	"	–	+WISH
J112621–312358	0.94 ± 0.17	–	–	11.0	14.5	0.07	0.05	–	0.3214	s	G	–	–
J112931–443552	1.01 ± 0.11	-0.73 ± 0.10	1.3	4.8	6.3	0.20	–	6.5e25	0.317	s	Q/Bz?	FSRS?	–
J112953–024006	0.94 ± 0.15	–0.67	1.3	9.2	28.4	0.19	–	4.4e27	2.0873	s	Q	FSRS?	–
J113143–581853	0.73 ± 0.13	-0.73 ± 0.03	1.5	9.2	–	1.30	–	–	–	–	Q	–	PL
J113316–631726	0.61 ± 0.14	-0.28 ± 0.11	1.5	5.7	–	0.21	–	–	–	–	G?	–	–
J113724–822905	1.17 ± 0.05	–0.59	1.3	9.1	–	0.09	–	–	–	–	Q?	–	–
J114002–464103	0.55 ± 0.01	–0.35	1.5	8.5	26.1	0.08	–	1.3e27	2.055	s	Q	–	–
J114011–680649	0.70 ± 0.10	–	–	12.1	–	0.10	–	–	–	–	G?	–	–
J114503–325824	0.61 ± 0.09	–0.22	1.5	13.6	14.1	0.08	0.03	2.8e23	0.0382	s	G	–	–
J114838–650837	0.53	–0.08	1.5	6.5	–	0.07	–	–	–	–	PNe	–	–
J114844–781933	1.19 ± 0.01	–	–	23.9	–	0.13	–	–	–	–	Q	–	3f, t89
J115031–842623	0.68	–	–	–	–	–	–	–	0.309	p	Q	–	at, –SUM
J115034–541642	1.60 ± 0.05	-0.57 ± 0.11	1.3	7.6	–	0.32	–	–	–	–	Q	–	–

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	<i>FWHM</i>	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц ⁻¹	<i>z</i>	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J115503–310759	0.76 ± 0.06	–0.52 ± 0.06	1.4	6.1	32.4	0.18	–	1.6e28	4.308	s	Q/Bz	FSRS	–
J115546–761907	0.63	–0.54 ± 0.09	1.4	3.9	–	0.12	–	–	–	–	Q?	–	–
J115918–663539	0.70 ± 0.32	–0.58 ± 0.13	1.4	4.1	–	0.31	–	–	–	–	Q	–	–
J115951–214853	1.19 ± 0.20	–0.77 ± 0.14	1.3	5.1	9.8	0.81	–	3.2e27	0.927	s	Q	FSRS?	–
J120458–505556	0.72 ± 0.10	–	–	16.3	33.9	0.23	–	–	1.083	s	Q/Bz?	FSRQ	–
J121255–175345*	1.13 ± 0.13	–	–	14.6	37.5	0.11	–	–	1.575	s	Q	–	–
J121340–272423*	0.97 ± 0.13	–	–	12.4	–	0.16	–	–	–	–	Q/Bz?	–	–
J122033–273601*	0.54 ± 0.04	–	–	–	–	–	–	–	0.912	p	Q	FSRS	TGSS
J122609–294012*	0.81	–0.31	–	10.6	–	0.08	–	–	–	–	Q/Bz	FSRQ?	at, TGSS
J122635–190438*	0.65 ± 0.05	–0.27	1.4	12.0	20.6	0.31	–	5.2e26	0.719	p	Q	–	–
J123030–645206	0.83 ± 0.13	–	–	9.3	–	0.14	–	–	–	–	PNe	–	–
J123449–243232	0.66 ± 0.03	–0.42	1.4	10.5	12.4	0.09	0.05	8.1e24	0.1813	s	G/BL	–	–
J124114–273026*	0.60 ± 0.07	–	–	29.6	101.3	0.08	–	–	2.427	p	Q	–	–
J125437–200056*	0.50 ± 0.08	–0.25 ± 0.15	1.4	25.3	49.6	0.32	–	9.7e26	0.959	s	Q	–	–
J125748–254802	0.72 ± 0.13	–	–	11.1	36.3	0.09	–	–	2.273	p	Q	–	–
J130031–441442*	0.77 ± 0.09	–0.34 ± 0.17	1.4	7.1	7.3	0.11	0.09	2.7e23	0.032	s	G	–	TGSS
J130340–462103*	0.74 ± 0.14	–0.47 ± 0.11	1.4	5.5	14.6	0.22	–	2.5e27	1.664	s	Q/Bz	FSRQ	–
"	0.57 ± 0.14	–0.47 ± 0.11	1.8	8.3	22.1	0.17	–	2.0e27	"	"	"	"	+TGSS
J130713–431426*	0.75	–0.86	1.4	6.1	20.3	0.09	–	3.4e27	2.343	p	Q	–	TGSS
J134229–740728	0.51 ± 0.12	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G?	–	–SUM
J140003–185811*	1.11 ± 0.05	–0.61 ± 0.09	1.3	6.9	13.4	0.41	–	1.5e27	0.94	s	Q/BL	FSRQ/	–
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
J140257–664031	1.66 ± 0.29	–	–	13.3	–	0.09	–	–	–	–	Q?	–	3f, t89
J141601–292450	0.65	–	–	10.2	–	0.14	–	–	–	–	Q?	–	–
J141912–262730*	0.74 ± 0.18	–0.32	1.3	11.8	27.7	0.11	–	7.2e26	1.358	p	Q	FSRS?	–
J141922–083830*	0.63 ± 0.10	–0.52 ± 0.06	1.4	23.1	43.8	0.36	–	1.1e27	0.903	s	Q/Bz	FSRQ	PL
J142119–583822	0.73 ± 0.06	–	–	13.0	–	0.07	–	–	–	–	PNe	–	–
J142741–330531*	0.63 ± 0.05	–0.40 ± 0.03	1.4	89.8	156.3	1.63	–	3.2e27	0.7418	s	Q/Bz	FSRS	–
J143608–153609	1.06 ± 0.07	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	–	t9

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	$FWHM$	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц $^{-1}$	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J144458–085941*	0.55 ± 0.01	–	–	–	–	–	–	–	1.788	p	Q/Bz	–	TGSS
J144555–303705*	0.69 ± 0.09	–	–	–	–	–	–	–	0.573	p	Q	FSRS	t9
J145508–315832*	0.48 ± 0.06	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q/Bz?	FSRS	–
J150930–264734*	0.89 ± 0.13	–	–	15.9	79.2	0.13	–	–	3.974	p	?	FSRS?	–
J151330–422156*	0.78 ± 0.15	–0.48	1.4	7.9	–	0.30	–	–	–	–	Q/Bz	–	–
J152210–294830*	0.86 ± 0.13	–	–	12.5	19.1	0.18	–	–	0.532	s	Q/BL	–	–
"	1.30 ± 0.31	–	–	12.2	18.6	0.19	–	–	"	"	"	–	–
J152445–510353	0.58	–0.30	1.5	12.9	–	0.07	–	–	–	–	Q?	–	–
J153030–220811	0.94 ± 0.05	–	–	10.5	–	0.07	–	–	–	–	Q/Bz	–	t9
"	1.52 ± 0.07	–	–	24.1	–	0.08	–	–	–	–	"	–	at
J153744–295433	1.48 ± 0.21	–	–	20.0	–	0.13	–	–	–	–	G?	–	t9
J153851–165526	1.27 ± 0.16	–0.49	1.3	8.9	–	0.11	–	–	–	–	Q/Bz	–	–
J154120–181521*	0.95 ± 0.22	–	–	15.1	26.7	0.08	–	–	0.771	p	Q/Bz	–	TGSS
J155355–235841	0.90 ± 0.12	–	–	20.9	–	0.11	–	–	–	–	S	–	–
J155704–272446*	0.82 ± 0.08	–	–	10.8	19.9	0.19	–	–	0.836	s	Q	FSRS?	–
J155941–244240	0.70 ± 0.09	–0.49 \pm 0.02	1.6	1.8	3.2	0.58	–	2.0e28	2.82	s	Q/BL	FSRQ	–
J155954–175859	1.06 ± 0.11	–	–	9.9	–	0.10	–	–	–	–	Q?	FSRS?	–
J161845–142428	1.42 ± 0.17	–	–	32.4	39.1	0.09	–	–	0.206	p	Q?	–	3f, t8
J162125–383707	1.42 ± 0.03	–	–	13.7	–	0.26	–	–	–	–	Q/Bz?	–	–
J163741–381212	0.51 ± 0.08	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G?	–	–
J163827–170111	1.24 ± 0.33	–	–	8.3	–	0.22	–	–	–	–	Q?	FSRS?	–
J164516–331816*	0.53 ± 0.06	–	–	33.3	52.5	0.35	–	–	0.576	p	Q/Bz?	–	–
J164842–330147*	0.58 ± 0.06	–0.36 \pm 0.02	1.5	19.1	–	0.86	–	–	–	–	Q	–	–
J164854–354707	0.84 ± 0.12	–	–	26.8	26.8	0.12	–	–	3.4E–4	s	PNe	–	–
J170537–283810*	0.50 ± 0.05	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	–	TGSS
"	0.93 ± 0.01	–	1.4	18.3	–	0.22	–	–	–	–	"	–	"
J171043–471820	1.06 ± 0.06	–	–	35.9	–	0.08	–	–	–	–	?	–	t8
J172654–513801*	0.50 ± 0.01	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	–	TGSS
J172746–754617*	0.76 ± 0.02	–	–	23.9	53.3	0.07	–	–	1.227	p	Q	–	t9, –SUM

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	<i>FWHM</i>	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц ⁻¹	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J174220–343515	0.61 ± 0.04	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G?	–	–
J180754–641350*	0.57 ± 0.08	–0.39 ± 0.04	1.6	21.9	44.2	0.38	–	1.4e27	1.016	s	Q	FSRS	–
J181225–712006	0.69	–0.54 ± 0.23	1.3	13.0	15.6	0.04	0.03	4.5e24	0.199	s	G	–	–
J181436–641253*	0.58 ± 0.16	–	–	33.3	51.2	0.13	–	–	0.539	p	Q	–	–
J181612–305208	1.05 ± 0.08	–0.57 ± 0.09	1.3	15.9	15.9	0.21	–	3.6e17	2.7E–5	s	PNe	–	–
J182016–424342*	0.61 ± 0.13	–	–	–	–	–	–	–	2.896	p	Q?	FSRS	–SUM
J183923–345348	1.73 ± 0.16	–	–	30.3	–	0.32	–	–	–	–	Q?	–	t9
J184114–450124	0.61 ± 0.18	–	–	16.1	–	0.08	–	–	–	–	G?	–	–
J184347–793646	1.07 ± 0.15	–0.76	1.3	6.5	21.6	0.12	–	4.1e27	2.352	p	Q	–	–
J184723–162302	1.21 ± 0.14	–0.63	1.3	9.2	–	0.09	–	–	–	–	Q?	–	–
J184827–735337	0.64 ± 0.04	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G	FSRS	–
J185910–045825	0.86 ± 0.18	–	–	–	–	–	–	–	–	–	G?	–	–
J190510–093442	0.51 ± 0.02	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	–	–
J191706–600015*	0.52 ± 0.004	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	–	–
J191816–411131*	0.76 ± 0.03	–	–	–	–	–	–	–	1.217	p	Q/BL	FSRS	t9
J191843–293110	1.26 ± 0.02	–	–	12.4	–	0.06	–	–	–	–	G?	–	–
J191931–180635*	0.98 ± 0.04	–	–	18.7	31.5	0.15	–	–	0.689	p	Q	FSRS	–
J192809–203544	0.90 ± 0.04	–	–	12.2	21.4	0.31	–	–	0.747	p	Q/Bz	FSRS	–
J194131–760548	0.71 ± 0.02	–	–	–	–	–	–	–	0.146	s	G/BL	–	–
J195739–461113	0.54 ± 0.05	–	–	–	–	–	–	–	–	–	Q?	FSRS	–
J195949–441611	0.62 ± 0.03	–	–	–	–	–	–	–	1.667	p	Q	–	t9
J200012–474951	0.75 ± 0.01	–	–	20.6	43.4	0.08	–	–	1.109	p	Q	–	–
J200324–042137	0.72 ± 0.33	–0.43 ± 0.01	1.4	6.1	–	0.15	–	–	–	–	Q	FSRS	–
J201115–154640*	0.53 ± 0.01	–0.52 ± 0.03	1.5	20.8	45.3	1.89	–	1.1e28	1.18	s	Q	FSRS	–
J201500–671258	0.76 ± 0.11	–	–	15.3	18.9	0.22	–	–	0.239	s	Q/BL	FSRS	–
J203540–694407	1.20 ± 0.13	–0.62	1.3	8.7	16.3	0.23	–	6.3e26	0.877	p	Q	–	–
J203637–283027*	0.77 ± 0.23	–	–	14.8	48.8	0.30	–	–	2.308	s	Q/Bz	–	–
J204849–254615	1.09 ± 0.11	–	–	19.7	37.5	0.17	–	–	0.9	p	Q	–	–
J205503–635207	1.35 ± 0.21	–0.63	1.2	18.7	44.5	0.04	–	3.5e26	1.377	p	Q	–	–

Таблица 1. (Продолжение)

NVSS name (J2000)	α_{below}	α_{above}	<i>FWHM</i>	ν_{obs} , ГГц	ν_{int} , ГГц	S_{peak} , Ян	θ , мсд	L_{ν} , Вт Гц ⁻¹	z	Method	Type	TypeR	Comments
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
J205625–320845*	0.68 ± 0.03	−0.53 ± 0.11	1.5	39.1	145.5	0.77	—	2.7e28	2.727	p	Q/Bz	—	—
J210923–261409	0.51 ± 0.10	—	—	23.6	—	0.14	—	—	—	—	G?	—	—
J210925–361557	0.92 ± 0.08	—	—	14.6	17.9	0.07	0.03	—	0.226	s	G	—	—
J212402–602808*	0.55	−0.36 ± 0.14	1.6	12.5	26.2	0.10	—	4.3e26	1.098	s	Q/Bz	—	—
J212642–381832*	0.77 ± 0.30	−0.37	1.3	9.5	—	0.10	—	—	—	—	Q?	—	—
J213208–542037*	0.57 ± 0.07	−0.60 ± 0.13	1.4	36.5	69.7	0.20	—	6.8e26	0.909	p	Q	—	PL
J213314–111517*	1.14 ± 0.31	—	—	9.8	15.3	0.06	—	—	0.564	p	Q	—	—
J214447–694654	0.51 ± 0.01	−0.37	1.6	33.2	182.9	0.13	—	9.4e27	4.517	p	Q	—	—
J215624–173401	0.64 ± 0.06	—	—	13.2	29.0	0.07	—	—	1.2	p	Q?	—	—
J220016–371656*	0.49 ± 0.05	—	—	31.5	110.9	0.23	—	—	2.518	p	Q	FSRS	—
J220413–465424	1.96	—	—	13.3	24.3	0.12	0.05	—	0.832	p	G?	—	3f
J221418–400849	0.84 ± 0.04	—	—	17.9	23.2	0.19	—	—	0.293	p	Q/Bz	—	—
J222329–061201*	0.63 ± 0.09	—	—	—	—	—	—	—	1.349	p	Q?	—	—
J223015–132543*	0.50 ± 0.04	−0.65 ± 0.08	1.4	14.1	34.0	0.75	—	7.2e27	1.42	s	Q/Bz	FSRS	PL
J224500–493148*	0.71	—	—	31.8	63.6	0.10	—	—	1.003	s	Q	—	3f
J224752–123719*	0.69 ± 0.10	−0.66 ± 0.09	1.5	15.3	44.2	0.44	—	8.2e27	1.892	s	Q/Bz	FSRQ	PL
J225423–514844*	0.66	—	—	15.6	20.6	0.06	—	—	0.316	p	Q/BL	—	at
J225558–103922	0.80 ± 0.10	—	—	14.1	22.8	0.10	0.04	—	0.616	p	G?	—	—
J230737–354828	0.62 ± 0.02	−0.40	1.5	19.8	23.9	0.17	—	9.4e26	1.207	p	Q	—	—
J231339–183004	1.02 ± 0.03	—	—	16.3	—	0.08	—	—	—	—	G?	—	—
J231347–441615*	0.76 ± 0.01	—	—	61.6	118.2	0.18	—	—	0.919	p	Q	—	t9, 3f
J231546–230744	0.93 ± 0.17	—	—	12.5	13.3	0.08	0.04	—	0.069	s	G	—	—
J233159–381147	0.86 ± 0.13	−0.78 ± 0.12	1.6	3.9	8.6	0.67	—	4.9e27	1.195	p	Q	—	—
J233726–590113	0.78 ± 0.13	—	—	34.6	57.8	0.28	—	—	0.672	p	Q/Bz?	—	—
J234540–720354*	0.74	—	1.3	11.7	22.9	0.05	—	—	0.958	p	Q/Bz?	—	at
J234743–494627*	0.63 ± 0.16	−0.32 ± 0.10	1.6	23.1	37.9	0.38	—	5.0e26	0.643	s	Q	FSRQ	PL
J235311–274324*	1.02 ± 0.10	—	—	16.6	31.4	0.28	—	—	0.8887	s	Q/Bz	—	—
J235540–541834	0.64 ± 0.09	—	—	30.6	43.3	0.10	—	—	0.4132	s	Q	—	—

- t8, t9 и t89 — источники, приведенные в таблицах 8 и 9 в статье Murphy et al. (2010), которые не имеют данных в каталогах NVSS (Condon et al., 1998) или SUMMS (Bock et al., 1999; Mauch et al., 2003) и чей спектральный индекс $\alpha_{20}^5 \geq +0.7$;
- +/-SUM, +/-VLASS, +/-WISH — привлечение при оценках параметров спектров данных каталогов SUMMS (Bock et al., 1999; Mauch et al., 2003), VLASS (Gordon et al., 2021; Villarreal Hernández and Andernach, 2018), WISH (De Breuck et al., 2002); «+» означает, что данные каталога при построении спектров использовались, «-» говорит об обратном;
- TGSS — в низкочастотной части спектра есть данные только каталога TGSS.

5. АНАЛИЗ СПЕКТРОВ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Поскольку при построении спектров источников мы опираемся на разнородные данные, полученные в разные эпохи наблюдений, в спектрах некоторых из них наблюдается «отскок» величины плотности потока от аппроксимирующей кривой, как, например, у источников J003207–154132 и J112120–172242 на частоте 352 ГГц (каталог WISH) или у J011102–474911, J012744–345755, J025822–332705, J042119–672902 на частотах 843 и 887 ГГц (каталоги SUMMS и RACS, Hale et al., 2021).

«Отскакивающими» мы называем измеренные величины плотностей потоков на спектре, учет которых при проведении аппроксимирующих кривых спектра существенно увеличивает среднеквадратичную ошибку разницы между аппроксимирующей кривой и экспериментальными плотностями потоков. Такие «отскоки» могут быть связаны с переменностью источника. Например, у источника J134229–740728 величины плотностей потоков на близких частотах, 843 МГц (SUMMS) и 887 МГц (RACS), отличаются более чем в два раза. При этом величина плотности потока на частоте 887 МГц хорошо ложится на линейный спектр, построенный аппроксимацией данных каталога AT20G. Возможно, что этот источник переменный.

У источника J040446–294011 величины плотностей потоков каталогов VLASS (3 ГГц) и AT20G (4.8, 8.6, 20 ГГц) хорошо аппроксимируются лог-параболической функцией в диапазоне 3–20 ГГц и лог-линейной функцией⁷⁾ со спектральным индексом $\alpha = -0.49$ на частотах 150 МГц (TGSS),

⁷⁾Лог-линейная функция, или линейная функция в логарифмическом масштабе, — это $\lg S_\nu = a \lg \nu + c$.

Таблица 2. Средние и медианные значения параметров спектров радиоисточников сформированной выборки

Параметр	Среднее	Медиана
α_{below}	0.85 ± 0.31	0.76
α_{above}	-0.49 ± 0.19	-0.48
<i>FWHM</i>	1.40 ± 0.11	1.40
ν_{obs} , ГГц	17.6 ± 14.3	12.9
ν_{int} , ГГц	34.8 ± 30.7	26.1
S_{peak} , Ян	0.21 ± 0.30	0.12

1.4 ГГц (NVSS) и 3 ГГц (VLASS), что может свидетельствовать о наличии протяженного нетеплового радиоизлучения долей радиоисточника. Однако, если предположить, что «отскок» величины плотности потока на частоте 3 ГГц связан с переменностью источника, величина α_{below} изменится с 1.519 на 0.677.

Перечисленные примеры демонстрирует, что мы не всегда можем уверенно аппроксимировать спектр источника. В связи с этим в таблице 1 для ряда источников приводятся два варианта параметров спектра или при построении спектра используются только величины плотностей потоков из каталога AT20G. Комментарии даны в колонке (14) таблицы 1.

Анализируя параметры спектров радиоисточников выборки, можно утверждать, что все они, за исключением шести, удовлетворяют критерию НФР: их пиковые частоты $\nu_{\text{obs}} > 5$ ГГц, у четырех — $\nu_{\text{obs}} \simeq 5$ ГГц. Если в качестве критерия НФР рассматривать условие $\nu_{\text{int}} > 5$ ГГц, то только у двух источников (J002442–420203 и J155941–244240), имеющих данные о красном смещении, не выполняется это условие.

На рис. 1 представлены гистограммы распределений параметров спектров объектов выборки. Соответствующие величины средних значений и медиан параметров приведены в таблице 2. При построении гистограмм, а также оценке средних значений и медиан спектральных параметров объекты PNe, S и YSO не учитывались.

Отметим, что 67% нашей выборки составляют радиоисточники, у которых нет данных о плотностях потоков в низкочастотной области спектра, а именно на частотах каталогов GLEAM и TGSS (группа 1). Средние величины спектральных индексов α_{below} источников этой группы на 30% больше, чем у источников, имеющих данные в каталогах GLEAM и TGSS (группа 2). Количество источников этой группы со спектральным индексом $\alpha_{\text{below}} > +1$ на порядок превышает число источников второй группы с такими же величинами α_{below} .

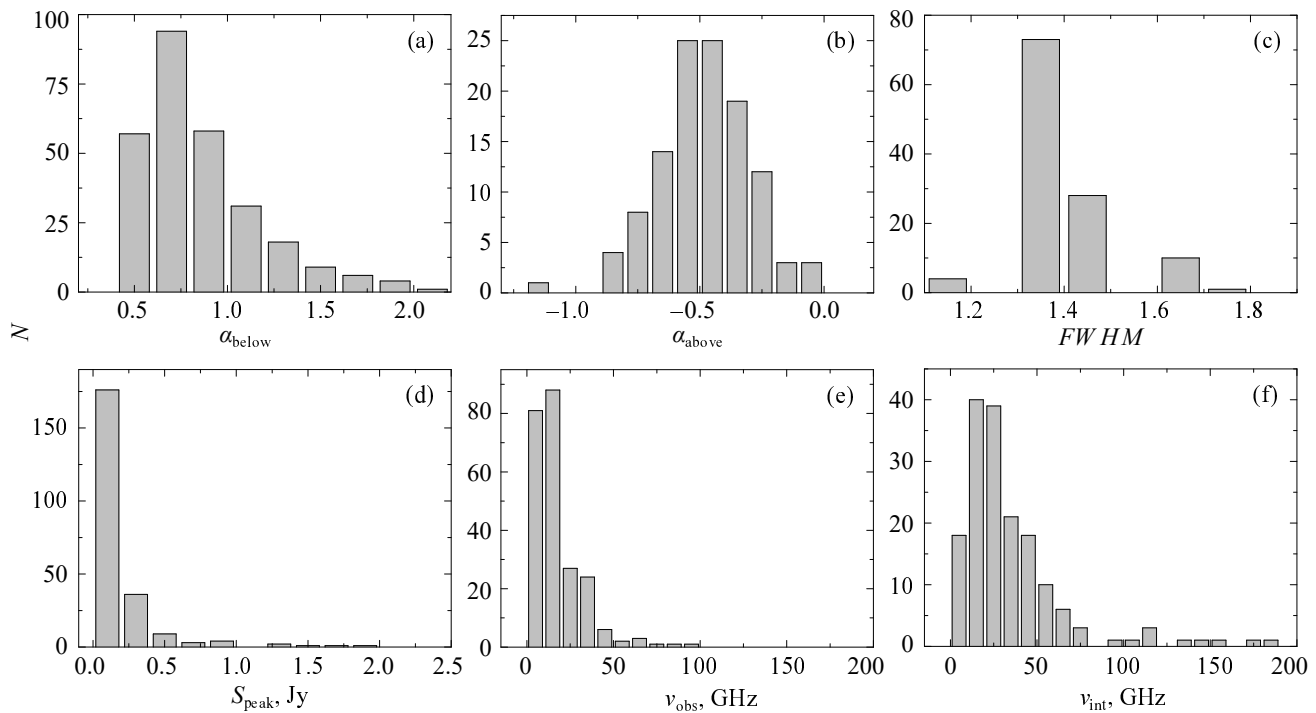


Рис. 1. Гистограммы распределений спектральных индексов (α_{below} и α_{above}), полуширин $FWHM$, плотностей потоков S_{peak} и частот пика (ν_{obs} и ν_{int}) радиоисточников выборки.

Средние значения S_{peak} , ν_{obs} и ν_{int} источников первой группы соответственно на 24%, 37% и 76% меньше, чем средние величины этих параметров у источников второй группы. В обеих группах есть объекты, имеющие чисто инвертированные спектры. У таких радиоисточников максимумы спектров будут располагаться на частотах выше 20 ГГц. Количество источников с подобными спектрами практически одинаково в обеих группах и насчитывает порядка двух десятков в каждой.

Средние величины пиковых плотностей потоков источников второй группы выше, чем первой (0.30 ± 0.35 и 0.17 ± 0.26 Ян соответственно); часть из них имеет плотности потоков больше 1 Ян.

6. ГАЛАКТИКИ И КВАЗАРЫ ВЫБОРКИ

На изображениях с высоким пространственным разрешением HFR-квезары имеют асимметричную морфологию «ядро–джет». В большинстве случаев морфология «ядро–джет» на масштабах парсек указывает, что источник является блазаром. GPS-галактики обычно демонстрируют двухкомпонентную или тройную структуру и известны как компактные симметричные объекты (CSOs). В ряде случаев имеет место слабая плоская составляющая спектра, которая интерпретируется как излучение ядра. Отметим, что в работе Torniiainen et al. (2008), где использовались алгоритмы кластеризации свойств GPS, определенная морфологическая

классификация не выявлена. Это указывало на существование разных субпопуляций, помимо ожидаемого дуализма галактика–квезар. Если следовать унифицированной модели АЯГ (Barthel, 1989; Urry and Padovani, 1995), то одним из наблюдаемых различий между радиогалактиками и радиоквезарами является величина угла, под которым джет и активное ядро расположены к лучу зрения наблюдателя.

В этом разделе мы проанализируем параметры континуальных спектров галактик и квазаров нашей выборки и сравним их свойства.

Основным критерием при формировании выборки источников из каталога AT20G было ограничение на величину их спектрального индекса: $\alpha_{\text{below}} \geq +0.5$. В сформированной таким образом выборке количество квазаров оказалось почти в 2.5 раз больше, чем галактик. Если оценивать долю галактик и квазаров к их общему числу в выборке (250), то доля квазаров составила 72%, а галактик 28%. Эти величины близки к соотношению квазаров и галактик (77% и 23% соответственно) в выборке, которая была сформирована, исходя из ограничения на частоту пика $\nu_{\text{obs}} > 5$ ГГц в работе Hancock (2009).

Такое соотношение между числом галактик и квазаров в выборках кандидатов в GPS/HFR соответствует отмеченной в работах Fanti et al. (1990), O’Dea (1998), Stanghellini (2003), Stanghellini et al. (1998), Tinti et al. (2005) тенденции

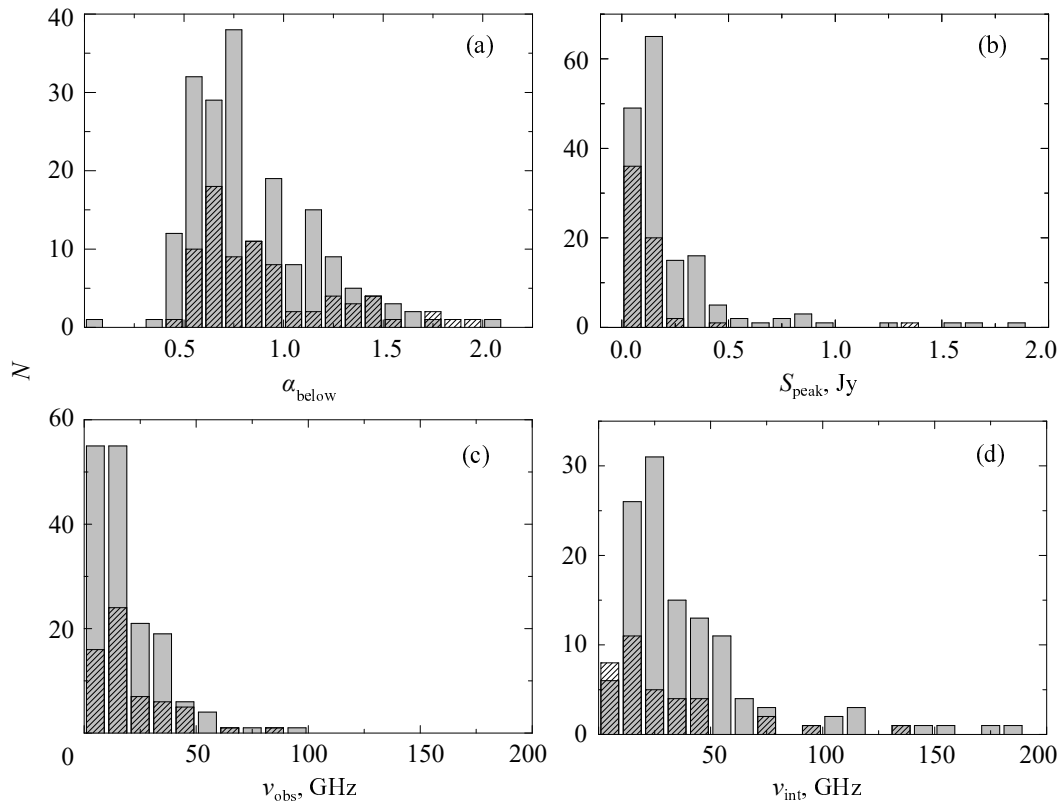


Рис. 2. Гистограммы распределений α_{below} (a), S_{peak} (b), ν_{obs} (c) и ν_{int} (d) для квазаров (серые прямоугольники) и галактик (заштрихованные прямоугольники) выборки.

к уменьшению числа галактик по отношению к числу квазаров с увеличением пиковых частот. При этом с увеличением величины пиковых частот будет увеличиваться и доля блазаров в выборке. В нашей выборке выявлено 66 блазаров. Часть из них не всегда надежно определены в литературе, в таблице 1 они обозначены как «Vz?».

На рис. 2 представлены гистограммы распределений спектральных индексов, пиковых плотностей потоков и частот пика галактик и квазаров выборки. Величины средних и медианных значений параметров приведены в таблице 3.

Характер распределения α_{below} галактик близок характеру распределения α_{below} квазаров. Максимум гауссианы, вписанной в распределение α_{below} галактик, составил 0.73 ± 0.02 , полуширина — 0.35, для распределения α_{below} квазаров эти величины составили 0.70 ± 0.03 и 0.41 соответственно.

Величины $\overline{\alpha_{\text{below}}}$ у галактик на 8% выше, чем у квазаров. В работе Mingaliev et al. (2013) эта разница составила около 10%.

Практически совпали средние и медианные значения распределений пиковых частот ν_{obs} галактик и квазаров. Средние пиковые значения ν_{int} квазаров существенно выше, чем $\overline{\nu_{\text{int}}}$ галактик (соответственно 40.4 ± 34.0 и 28.9 ± 27.9 ГГц), что объясняется большими величинами красных смещений у

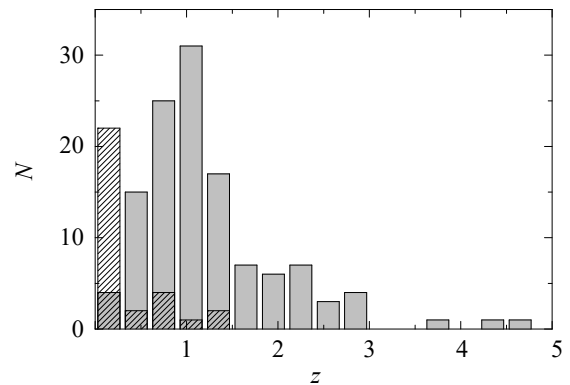


Рис. 3. Гистограмма распределений красных смещений квазаров (серые прямоугольники) и галактик (заштрихованные прямоугольники) нашей выборки.

квазаров по сравнению с галактиками. Гистограммы распределений красных смещений квазаров и галактик показаны на рис. 3 (серые прямоугольники относятся к квазарам, заштрихованные — к галактикам). Средние значения z квазаров составили 1.24, галактик — 0.31; медианы — 1.00 и 0.15 соответственно.

Что касается плотностей потоков источников, то у подавляющего большинства галактик плотности потоков меньше 0.2 Ян, у квазаров —

Таблица 3. Средние и медианные значения параметров спектров галактик и квазаров, входящих в сформированную выборку

Параметр	Среднее		Медиана	
	квазары	галактики	квазары	галактики
α_{below}	0.83 ± 0.31	0.90 ± 0.36	0.76	0.80
α_{above}	-0.53 ± 0.20	-0.43 ± 0.15	-0.52	-0.49
$FWHM$	1.42 ± 0.11	1.36 ± 0.09	1.40	1.20
ν_{obs} , ГГц	19.1 ± 15.5	20.0 ± 15.7	13.2	14.1
ν_{int} , ГГц	40.4 ± 34.0	28.9 ± 27.9	28.8	18.1
S_{peak} , Ян	0.24 ± 0.34	0.13 ± 0.17	0.14	0.09

меньше 0.4 Ян, а средние значения ($\overline{S_{\text{peak}}}$) равны соответственно 0.13 и 0.24 Ян (таблица 3). То, что S_{peak} галактик и квазаров существенно отличаются, наглядно демонстрирует рис. 4, на котором представлена зависимость пиковой плотности потока от частоты.

В работе Orienti et al. (2010) было высказано предположение, что молодые источники чаще встречаются среди галактик с плотностью потока менее 0.3 Ян. Таким образом, существует вероятность, что среди галактик нашей выборки могут присутствовать молодые радиоисточники HFR.

На рис. 5 показана зависимость α_{below} от красного смещения. График, представленный на данном рисунке, более информативен, чем отдельные гистограммы распределений α_{below} , и дополняет их. Большинство галактик имеет спектральный индекс $\alpha_{\text{below}} < +1.1$ и $z < 0.25$. Прослеживается четкая граница на $z = 0.4$, левее которой располагается большинство галактик, а правее — большинство квазаров. Красные смещения квазаров лежат в диапазоне $0.4 < z < 5$.

Вид графика на рис. 5, скорее всего, связан с наблюдательной селекцией. В оптическом диапазоне галактики слабее, чем квазары, и их красные смещения невелики ($z < 1$), что подтверждается данными из литературы.

Можно отметить, что подавляющее большинство галактик нашей выборки — это источники первой группы, у которых нет данных на частотах ниже 0.8 ГГц. Вторая группа радиоисточников состоит в основном из квазаров, у которых имеются данные о плотностях потоков на низких частотах. К этой группе относится всего 10 галактик, что на порядок меньше, чем квазаров. Возможно, это связано с тем, что плотности потоков галактик невелики, вследствие чего они не обнаруживаются на низких частотах.

В заключение сравним величины некоторых характеристик галактик и квазаров нашей выборки с аналогичными характеристиками, полученными

ми в работе Hancock (2009). Как уже отмечалось, в этой работе была сформирована выборка из 656 GPS-источников каталога AT20G, исходя из ограничения на частоту пика $\nu_{\text{obs}} > 5$ ГГц. Соотношение квазаров и галактик нашей выборки (72% и 28%) практически совпало с соотношением квазаров и галактик (77% и 23%) выборки из работы Hancock (2009); средние значения красных смещений z квазаров — 1.24, галактик — 0.31, в то время как в работе Hancock (2009) эти величины равны соответственно 1.2 и 0.2. Как отмечается в Hancock (2009), распределения оценок плотности потока в пике спектра галактик и квазаров различаются: галактики «плотнее концентрируются около значений 0.1–0.35 Ян вычисленной плотности потока пика, а у квазаров плотности потока в пике распределены более широко, в диапазоне примерно 0.35–1 Ян».

Плотности потоков S_{peak} галактик и квазаров нашей выборки равны соответственно 0.13 ± 0.17 и 0.24 ± 0.34 Ян. Частоты пика источников выборки из Hancock (2009) лежат в диапазоне 8–15 ГГц, в то время как у большинства источников нашей выборки диапазон пиковых частот ν_{obs} составляет 5–50 ГГц.

7. ИСТОЧНИКИ С УЛЬТРАИНВЕРТИРОВАННЫМИ СПЕКТРАМИ

Murphy et al. (2010) обнаружили небольшую, но важную популяцию нетепловых радиоисточников, имеющих спектральный индекс $\alpha_5^{20} > +0.7$. По аналогии с радиоисточниками со сверхкрутыми спектрами с $\alpha < -1.3$ (Blumenthal and Milev, 1979; Tielens et al., 1979) для этих источников ввели термин «радиоисточник с ультраинвертированным спектром» (UIS – Ultra-Inverted Spectrum). Было высказано предположение, что крутой спектр этих источников, вызванный самопоглощением, указывает на их молодость или, возможно, что они заключены в очень плотную среду (Murphy et al.,

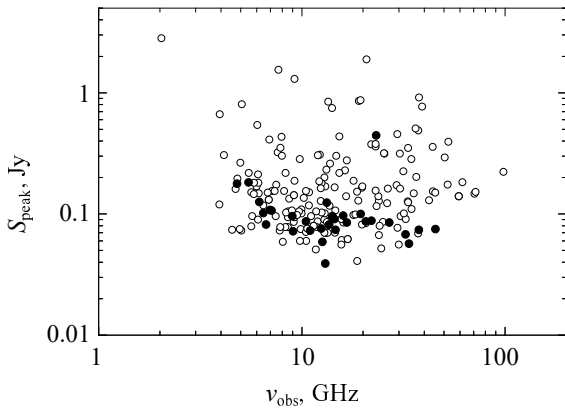


Рис. 4. Зависимость пиковой плотности потока S_{peak} от частоты ν_{obs} . Заполненные кружки соответствуют галактикам, незаполненные — квазарам.

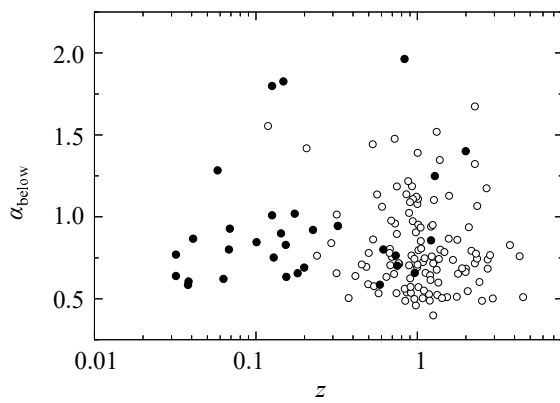


Рис. 5. Зависимость α_{below} от красного смещения. Заполненными кружками обозначены галактики, незаполненными — квазары.

2010). Если источники UIS достигают максимума на частотах около или выше 20 ГГц, связь между спектральным пиком и размером источника подразумевает, что их размеры составят менее нескольких десятков парсек. Предсказывалось, что 1.2% источников каталога AT20G будут относиться к этому классу.

Среди радиоисточников нашей выборки было найдено 187 источников с величинами $\alpha_{\text{below}} \geq +0.7$, что составляет 3.2% от всех источников каталога AT20G и 70% от всех источников нашей выборки. Из них 42 источника имеют данные на частотах каталогов TGSS и GLEAM. Если среди них и есть молодые источники, то только «перезапущенные». Для прояснения этого вопроса необходимы дополнительные исследования.

В нашу выборку вошла часть радиоисточников с ультраинвертированными спектрами из таблиц 8 и 9 работы Murphy et al. (2010). В таблице 1 (колонка (15)) они отмечены значками t8, t9, t89. Эти

обозначения отсылают к номеру таблиц в Murphy et al. (2010).

В таблице 8 работы Murphy et al. (2010) представлены источники каталога AT20G без низкочастотных аналогов в каталогах SUMSS или NVSS. Там же указаны спектральные индексы α_{20}^1 и α_{20}^5 этих источников. Приведенные в этой таблице 24 источника имеют спектральный индекс $\alpha_{20}^1 > +0.7$. Построение их спектров с использованием базы данных CATS показало, что только у шестнадцати из них $\alpha_{\text{below}} > +0.7$, у остальных восьми $\alpha_{\text{below}} < +0.7$.

В таблице 9 работы Murphy et al. (2010) приведены источники AT20 с ультраинвертированными спектрами, у которых спектральный индекс $\alpha_{20}^5 \geq +0.7$. Всего обнаружено 45 таких объектов, из которых 24 имеют значения $\alpha_{\text{below}} \geq +0.7$. Восемь из них уже приводились в таблице 8 (см. Murphy et al., 2010).

Таким образом, из 69 источников каталога AT20G со спектральными индексами $\alpha_{20}^1 > +0.7$ и $\alpha_{20}^5 \geq +0.7$, приведенными в таблицах 8 и 9 (Murphy et al., 2010), только 32 показали значения спектрального индекса $\alpha_{\text{below}} \geq +0.7$ при построении спектров с использованием базы данных CATS.

Отметим, что в работе Massardi et al. (2011) было найдено четыре источника, чьи спектральные индексы $\alpha_8^5 > +2.5$. Как отмечено в статье, они соответствуют максимально возможным синхротронным спектральным индексам самопоглощения +2.5 на низких частотах, но не согласуются с максимальным спектром +2.0 свободно-свободного поглощения. Три из них вошли в нашу выборку и приведены в таблице 1. Это J070949–381152, J111246–203932 и J143608–153609. Спектральные индексы α_{below} этих источников оказались меньше +2.0 и составили соответственно 1.80, 1.79 и 1.0.

Среди радиоисточников с ультраинвертированными спектрами можно выделить источники с узкими полуширинами спектра, которые считаются наиболее вероятными кандидатами в HFR. В классическом случае $FWHM$ принимается равной 1.2 (O’Dea et al., 1991; de Vries et al., 1997; Edwards and Tingay, 2004). Однако по результатам измерений спектров наблюдаемых источников (Mingaliyev et al., 2012; 2013) величина $FWHM$ оказывалась больше: от 1.4 до 1.5 декады частоты. Мы в качестве границы взяли величину $FWHM = 1.35$, близкую к медиане $FWHM$ источников выборки.

Среди источников нашей выборки с измеренными полуширинами спектров было обнаружено 45, удовлетворяющих этим условиям. Из них 30 отождествлены с квазарами, 11 — с галактиками,

Таблица 4. Средние и медианные значения параметров спектров источников, у которых $\alpha_{\text{below}} \geq +0.7$ и $FWHM \leq 1.35$

Параметр	Среднее	Медиана
α_{below}	1.10 ± 0.26	1.10
α_{above}	-0.56 ± 0.17	-0.58
$FWHM$	1.30 ± 0.04	1.30
ν_{obs} , ГГц	9.9 ± 7.9	7.9
ν_{int} , ГГц	23.1 ± 20.7	15.9
S_{peak} , Ян	0.20 ± 0.22	0.15

3 — с планетарными туманностями (P Ne), 1 — не отождествлен.

Величины средних значений и медиан параметров спектров этих источников приведены в таблице 4.

Средние и медианные значения спектральных индексов α_{below} источников рассматриваемой подвыборки, как и следовало ожидать, оказались выше, чем для полной выборки источников, а значения $FWHM$ — меньше. Средние значения пиковых плотностей потоков практически совпали (0.21 ± 0.30 и 0.20 ± 0.22 Ян).

Средние и медианные значения пиковых частот ν_{int} и ν_{obs} подвыборки источников с ультраинвертированными спектрами на 50% и 70% меньше, чем у источников полной выборки. В подвыборку не вошли радиоисточники с пиковыми частотами $\nu_{\text{obs}} > 50$ ГГц и $\nu_{\text{int}} > 100$ ГГц. Однако если снять ограничение на величину полуширины спектра $FWHM \leq 1.35$, то, как видно из таблицы 1, в выборку войдут несколько источников с $\nu_{\text{obs}} > 50$ ГГц, а также источники с инвертированными спектрами без пика, у которых пиковые частоты ν_{obs} могут оказаться выше 50 ГГц, что увеличит среднее значение частоты пика ν_{obs} подвыборки.

8. РАДИОСВЕТИМОСТЬ ГАЛАКТИК И КВАЗАРОВ

Для радиоисточников выборки с известными красными смещениями была определена радиосветимость L_ν на частоте 20 ГГц. Расчеты проводились по формуле из работы Miley and De Breuck (2008):

$$L_\nu = 4\pi D_L^2 S_\nu (1+z)^{-(\alpha+1)}, \quad (1)$$

где S_ν — плотность потока источника на частоте ν , D_L — фотометрическое расстояние. Использовалась Λ CDM-космология с $H_0 = 67.4$ км с⁻¹ Мпк⁻¹, $\Omega_m = 0.315$ и $\Omega_\Lambda = 0.685$ (Aghanim et al., 2020).

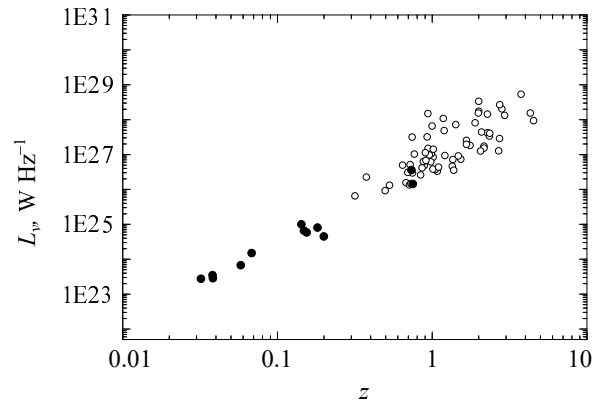


Рис. 6. Зависимость радиосветимости источников L_ν на частоте 20 ГГц от красного смещения z . Незаполненные кружки соответствуют квазарам, заполненные — галактикам.

Величины D_L были найдены с помощью модуля Cosmology пакета Astropy⁸⁾ для языка программирования Python.

Радиосветимость рассчитывалась только для источников, чьи плотности потоков на частоте 20 ГГц лежали в области спектра, характеризующей оптически тонкую область излучения, и у которых были определены спектральные индексы α_{above} . Величины радиосветимости на частоте 20 ГГц приведены в колонке (9) таблицы 1.

На рис. 6 показана зависимость L_ν от z для галактик и квазаров сформированной выборки. Радиосветимости галактик лежат в диапазоне 10^{23} – 10^{26} Вт Гц⁻¹, квазаров — в диапазоне 10^{26} – 10^{30} Вт Гц⁻¹. Диапазоны радиосветимостей галактик и квазаров совпали с полученными в работе Mahony et al. (2011) радиосветимостями источников каталога AT20G на $\nu = 20$ ГГц, так же, как и характер зависимости L_ν от ν .

9. ОЦЕНКИ УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ ИЗЛУЧАЮЩИХ ОБЛАСТЕЙ ГАЛАКТИК ВЫБОРКИ

Получены оценки верхних пределов угловых размеров θ излучающих областей галактик, вошедших в выборку. Оценки размеров делались в предположении однородного по структуре и магнитному полю радиоисточника со степенным распределением излучающих частиц и самопоглощением на частотах ниже частоты пика. Поскольку состояние равномерного распределения энергии между магнитным полем и релятивистскими частицами в джете квазаров/блазаров не выполняется, мы ограничились оценками угловых размеров излучающих областей галактик.

⁸⁾<https://www.astropy.org/>

Для них частота максимума спектра связана с θ следующим соотношением (Kellermann and Pauliny-Toth, 1981b; Snellen et al., 2000; Mingaliev et al., 2013; Sotnikova et al., 2019):

$$\nu_{\max} = 8B^{1/5} S_{\max}^{2/5} \theta^{-4/5} (1+z)^{1/5}, \quad (2)$$

где B — магнитное поле в гауссах, S_{\max} — плотность потока в максимуме радиоспектра в Ян, ν_{\max} — частота максимума в спектре в ГГц. В принятых ранее обозначениях S_{\max} соответствует S_{peak} , ν_{\max} — частоте пика ν_{obs} . Для компактных внегалактических объектов с однородным распределением магнитного поля и релятивистских частиц магнитное поле B принимается равным 100 мкГс (Mutel et al., 1985). Отметим, что θ слабо зависит от B . Тогда θ можно вычислить по формуле:

$$\theta \approx 1.345 \sqrt{S_{\max}} (1+z)^{1/4} \nu_{\max}^{-5/4}. \quad (3)$$

Величины угловых размеров галактик выборки представлены в колонке (8) таблицы 1.

На рис. 7 видна антикорреляция между угловыми размерами галактик и их собственными пиковыми частотами, которая ранее была обнаружена при наблюдениях CSS- и GPS-радиоисточников в Fanti et al. (1990) и Stanghellini et al. (1990a).

Зависимость собственных пиковых частот галактик от их угловых размеров хорошо согласуется с регрессией $\nu_{\text{int}} \simeq \theta^{-0.68}$, полученной из соотношения $\lg \nu_{\text{int}} = (-0.68 \pm 0.01) \lg \theta$.

Зависимость θ от ν_{int} на рис. 7 близка к представленной в работе Sotnikova et al. (2019). Различия заключается в том, что источники нашей выборки с известными красными смещениями, за исключением одного, имеют пиковые частоты выше 5 ГГц и, соответственно, меньшие угловые размеры, вплоть до 0.003 мсд.

Аналогичная антикорреляция была обнаружена в работах Fanti et al. (1990), O’Dea (1998) Orienti and Dallacasa (2014) между линейными размерами (LS) источников и их собственной частотой пика. В работе Orienti and Dallacasa (2014) приведено аналитическое выражение связи между пиковой частотой ν_{int} и наибольшим линейным размером источников:

$$\lg \nu_{\text{int}} = -0.21 \pm 0.04 - (0.59 \pm 0.05) \lg LS.$$

Оно было получено из аппроксимации экспериментальной зависимости LS от ν_{int} , построенной на основе наблюдательных данных. Часто для оценок используют упрощенную формулу: $\nu_{\text{int}} \simeq LS^{-0.59}$. В работе O’Dea (1998) связь между LS и ν_{int} выражается близкой формулой: $\lg \nu_{\text{int}} = -0.21 \pm 0.05 - (0.65 \pm 0.05) \lg LS$, или $\nu_{\text{int}} \simeq LS^{-0.65}$.

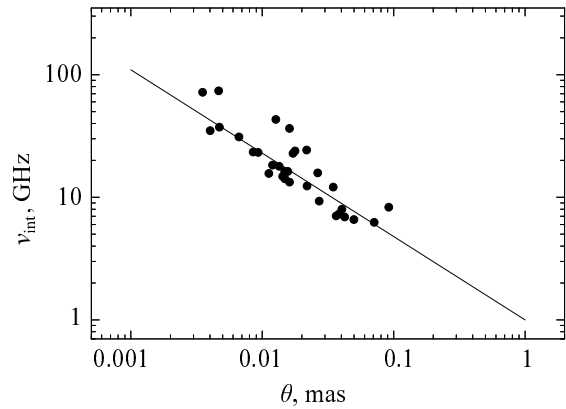


Рис. 7. Зависимость пиковой частоты ν_{int} от угловых размеров галактик θ выборки. Черной линией представлена зависимость $\nu_{\text{int}} = \theta^{-0.68}$ (в логарифмическом масштабе), найденная ранее Fanti et al. (1990) и Stanghellini et al. (1990a).

Соотношения между пиковой частотой и LS помогли нам оценить линейные размеры источников нашей выборки: они малы и лежат в диапазоне от 0.2 до 30 пк (у галактик они меньше 30 пк, у большинства квазаров меньше 10 пк). От том факте, что высокочастотные GPS-источники очень компактны (10–50 пк), уже отмечалось ранее, например в работе Hancock et al. (2010). Для сравнения, в работах O’Dea and Baum (1997), O’Dea (1998) линейные размеры исследуемых радиоисточников превышают 10 пк.

Таким образом, сформированная нами выборка состоит из компактных радиоисточников (в основном квазаров), имеющих высокие пиковые частоты (больше 5 ГГц), малые угловые и линейные размеры. Поскольку, согласно «молодежному» сценарию, существует антикорреляция между размером источника и его возрастом (Fanti et al., 1995; Snellen et al., 2000), обусловленная синхротронным самопоглощением, наша выборка может содержать радиоисточники возрастом 10^2 – 10^3 лет (Tinti et al., 2003).

Однако поиск таких источников усложняется тем, что время их жизни невелико. Они или разрушаются, не успевая достигнуть больших размеров, или по мере старения их пиковые частоты смещаются в сторону более низких частот. Еще одной проблемой является засорение таких выборок блазарами, которые имеют морфологию «ядро–джет» на масштабах от десятков пк до кпк и показывают в момент вспышек инвертированные или пиковые спектры. Основные отличия молодых радиоисточников от блазаров состоят в том, что они считаются наименее изменчивым классом и практически неполяризованы, в то время как блазары показывают значительную спектральную переменность и их излучение поляризовано (Orienti

et al., 2006). Поиск затрудняется тем, что блазары, также как и молодые радиоисточники, могут быть очень компактными вследствие ориентации их джета, направленного близко к лучу зрения наблюдателя.

10. ЗАВИСИМОСТЬ «ЗВЕЗДНАЯ ВЕЛИЧИНА – КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ»

Как показали многочисленные исследования, значительная доля квазаров с высокочастотным пиком в спектре на самом деле являются вспыхивающими источниками с плоским спектром или блазарами. В нашей выборке количество блазаров составило 24.5% от всех источников выборки. Практически такой же процент (25%) блазаров был обнаружен в выборке из 206 источников GPS и HFR, представленных в работе Torniainen et al. (2008).

Известно, что подлинные HFR-квазары довольно редки, и чтобы их обнаружить, требуются длительные мониторинги их спектров. Среди галактик подлинные HFR встречаются гораздо чаще (Torniainen et al., 2007).

Подлинными мы называем HFR-источники, которые, согласно характеристикам, приведенным в работе Hancock et al. (2010), кроме выпуклого радиоспектра с пиком выше 5 ГГц, слабой переменности плотности потока и небольшой изменчивости формы спектра во времени, имеют компактную радиоморфологию, а также оптический спектр с эмиссионными линиями или линиями поглощения, а не спектр без особенностей континуума, наблюдаемый у блазаров. Таким характеристикам, в частности, должны соответствовать молодые радиогалактики с высокочастотными пиками в спектре (Hancock et al., 2010).

В работах Snellen et al. (1996, 2002), O’Dea (1998) было продемонстрировано, что для GPS-галактик зависимость «звездная величина в полосе R – красное смещение», известная как диаграмма Хаббла, хорошо согласуется с соотношением Хаббла, найденным Snellen et al. (1996) для аппроксимации экспериментальных данных.

Orienti et al. (2010) показали, что и для HFR-галактик зависимость « $R-z$ » также хорошо согласуется с соотношением Хаббла. Для подтверждения этого использовалась выборка HFR-галактик с плотностями потоков от 50 до 300 мЯн на частоте 5 ГГц из Stanghellini et al. (2009).

В таблице 5 приведены радиоисточники, отождествленные с галактиками, имеющими наибольшие отклонения величин R от соотношения Хаббла. Галактики, у которых эти отклонения невелики (менее $\pm 2^m 5$), представлены в таблице 6.

Чтобы проверить, подчиняются ли галактики нашей выборки соотношению Хаббла (Snellen et al., 1996), были построены зависимости « $R-z$ », как для всех радиоисточников выборки (рис. 8a), так и только для радиогалактик (рис. 8b), а также для радиогалактик, у которых отклонения от соотношения Хаббла невелики (рис. 9). Соотношение Хаббла показано пунктирной линией. Из приведенных зависимостей видно, что для части галактик их звездные величины достаточно сильно отклоняются от соотношения Хаббла.

Информация об источниках в таблицах 5 и 6 частично совпадает с приведенной в таблице 1. Дополнительно в колонке (8) приводятся звездные величины источников в полосе R из оптического каталога AT20G. Каталог доступен в электронной версии статьи Mahony et al. (2011)⁹. В колонке (12) представлена информация об оптическом отождествлении источников из оптического каталога AT20G (Mahony et al., 2011). Источники, которые имели надежные измерения красного смещения, были классифицированы Mahony et al. (2011) в соответствии с их эмиссионными или абсорбционными характеристиками оптического спектра по следующим категориям: Aa — активные ядра только с линиями поглощения, Aae — с линиями поглощения и слабыми эмиссионными линиями, Ae — только с сильными эмиссионными линиями, AeB — с широкими эмиссионными линиями. Цифра 1 указывает, что источник был классифицирован в базе данных SuperCOSMOS (Hambly et al., 2001) как галактика, 2 — как звездный (или точечный) объект, показывающий невыразительный спектр в континууме, особенно в голубой области.

Отметим, что объекты, классифицируемые как Aa, Aae, Ae в базе данных SuperCOSMOS, попадают в категорию галактик, а AeB в большинстве связывают с квазарами. Эти данные, приведенные в колонке (12), дают нам дополнительную информацию о принадлежности объектов к тому или иному классу.

Все источники, представленные в таблице 5 и имеющие наибольшие отклонения R от соотношения Хаббла, относятся к объектам, у которых нет данных на частотах меньше 0.8–1.4 ГГц. Источник J002616–351249 идентифицирован как галактика в базе данных SuperCOSMOS (Hambly et al., 2001). Однако, как отмечается в работе Hancock et al. (2010), сильная переменность J002616–351249 на частоте 95 ГГц и на частотах миссии WMAP (22% и 38% на 33 и 61 ГГц соответственно) свидетельствует о том, что это скорее источник «ядро–джет», а не настоящая HFR-галактика.

⁹<http://ssa.roe.ac.uk/>

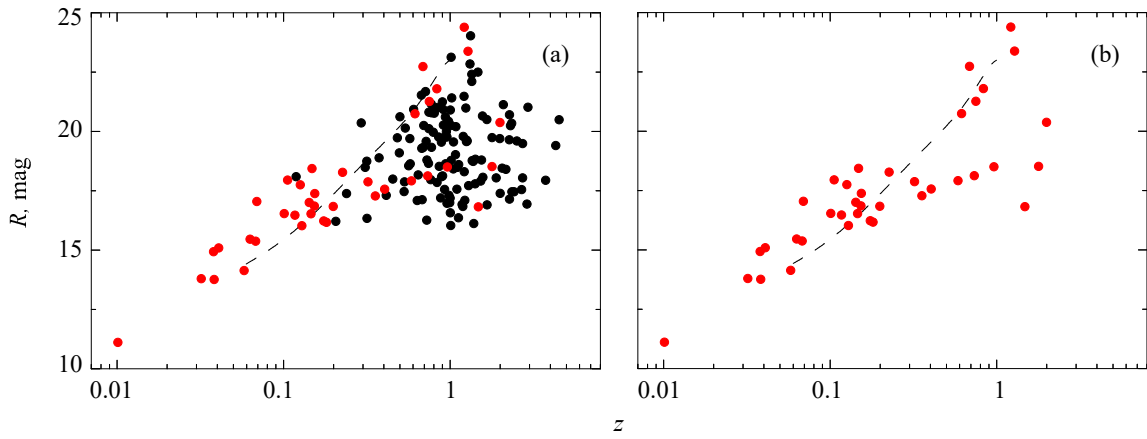


Рис. 8. Зависимость звездной величины в полосе R от красного смещения z для галактик и квазаров нашей выборки, и только для галактик, панели (a) и (b) соответственно. Галактики обозначены красными заполненными кружками, квазары — черными. Штриховой линией обозначено соотношение Хаббла, найденное Spellen et al. (1996).

Таблица 5. Характеристики и спектральные параметры галактик, имеющих наибольшие отклонения звездных величин R от соотношения Хаббла. В колонках таблицы указаны: (1) — имя объекта; (2)–(5) — параметры спектра α_{below} , $FWHM$, ν_{obs} и S_{peak} соответственно; (6) — угловой размер θ ; (7) — радиосветимость L_ν на частоте 20 ГГц; (8) — звездная величина в полосе R ; (9) — красное смещение z ; (10) и (11) — типы родительского объекта и радиоисточника соответственно; (12) — оптическая классификация объектов из работы Mahony et al. (2011)

NVSS name	α_{below}	$FWHM$	ν_{obs} , GHz	S_{peak} , Jy	θ , mas	L_ν , W Hz $^{-1}$	R , mag	z	Type	TypeR	Opt.*
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
J002616–351249	1.40 ± 0.11	1.2	30.5	1.31	0.07	$3.4e28$	20.38	1.996	G?	FSRS	1
J033427–015358	0.95 ± 0.09	—	—	—	—	—	16.82	1.48	G	—	AeB,2
J044245–681838	0.66 ± 0.06	—	37.6	0.07	0.01	—	18.5	0.964	G	—	1
J084009–835432	0.76 ± 0.18	1.4	4.8	0.18	0.22	$3.6e26$	18.13	0.7344	G	FSRS	2
J094258–604621	0.59	—	—	—	—	—	17.92	0.586	G	—	—
J095744–153246	0.65 ± 0.09	—	14.5	0.07	0.04	—	18.52	1.787	G	FSRS	AeB,2

* подробнее об обозначениях см. в разделе 10

Источники J002616–351249, J084009–835432 и J095744–153246, согласно литературным данным (Helou et al., 1995), обладают плоским спектром (FSRS), и их вряд ли можно отнести к подлинным НФР. Источники J033427–015358 и J095744–153246 имеют широкие эмиссионные линии в оптическом спектре и относятся к категории AeB, которую связывают с квазарами. Источники J033427–015358, J084009–835432 и J095744–153246 в базе данных SuperCOSMOS классифицированы как звездные (или точечные) объекты, показывающие невыразительный спектр в континууме, о чем свидетельствует цифра 2 в колонке (12). Скорее всего, они являются квазарами или блазарами.

Для двух источников из таблицы 5, J044245–681838 и J094258–604621, нет данных.

Это ставит под сомнение их классификацию как галактик (Helou et al., 1995). Однако вопрос о том, являются ли они подлинными НФР-галактиками, остается открытым, поскольку у нас нет информации об их переменности.

Что касается источников, у которых отклонения величин R от соотношения Хаббла невелики (рис. 9) и список которых приведен в таблице 6, то среди них также есть радиоисточники с плоским спектром (J012346–092304, J033332–052301, J051321–212821, J110957–373220), и они, скорее всего, не являются подлинными НФР-галактиками. Кроме того, источники J051321–212821 и J112621–312358 идентифицированы в работе Mahony et al. (2011) как AeB и могут оказаться квазарами.

Таким образом, из общего количества источ-

Таблица 6. Те же характеристики и спектральные параметры, что и в таблице 5, галактик, имеющих минимальные отклонения звездных величин R от соотношения Хаббла

NVSS name	α_{below}	$FWHM$	ν_{obs} , GHz	S_{peak} , Jy	θ , mas	L_{ν} , W Hz $^{-1}$	R , mag	z	Type	TypeR	Opt.*
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
J002705–050350	0.70±0.02	1.4	9.0	0.072	0.06	1.4e26	21.26	0.75	G	–	–
J003033–581914*	1.02 ± 0.30	–	12.6	0.059	0.03	–	16.23	0.17401	G	–	Aa,1
J004905–552110	0.72 ± 0.02	–	22.0	0.09	0.02	–	15.46	0.063	G	–	Aae,1
J011102–474911	0.63 ± 0.02	1.3	27.1	0.09	0.02	5.9e24	17.38	0.1542	G	GPSc	G,1
J012346–092304*	0.90 ± 0.27	1.3	5.5	0.18	0.17	1.0e25	17.01	0.1427	G	FSRS	G,1
J015949–085000*	0.66 ± 0.14	–	–	–	–	–	17.57	0.4052	G	–	G,1
J020835–173934*	0.75 ± 0.25	–	10.7	0.24	0.08	–	16.03	0.129	G	–	1
J023611–420337	1.25	–	15.9	0.10	0.04	–	23.38	1.283	G?	–	–
J024710–632537	0.85 ± 0.02	–	16.6	0.09	0.03	–	16.54	0.101	G	–	–
J025822–332705	0.83±0.09	–	63.0	0.13	0.01	–	24.39	1.216	G	–	–
J033332–052301	0.62 ± 0.06	–	15.9	0.08	0.03	–	16.86	0.153	G	FSRS	1
J034941–540106	0.92 ± 0.08	1.3	6.2	0.13	0.12	1.5e24	15.38	0.068	G	–	Aae,1
J040106–160640	0.64 ± 0.19	–	23.2	0.44	0.04	–	13.8	0.032	G	–	Aae,1
J040438–041655	0.55 ± 0.13	–	–	–	–	–	22.73	0.687	G?	–	–
J042203–562127	0.58 ± 0.13	1.5	9.0	0.10	0.06	3.5e23	14.93	0.038	G	–	Aa,1
J051321–212821*	0.92 ± 0.30	–	–	–	–	–	17.28	0.356	G	FSRS	AeB,1
J054828–331331	0.87 ± 0.11	–	33.6	0.06	0.01	–	15.09	0.0408	G	–	Aa,1
J063004–551751	1.28	1.3	6.7	0.08	0.09	6.8e23	14.14	0.0579	G	–	Aae,1
J070949–381152	1.80	–	20.6	0.09	0.02	–	17.75	0.126	G	–	Aa,1
J074109–544746	0.63 ± 0.15	–	–	–	–	–	17.95	0.1058	G	–	Aae,1
J083821–071336	0.61 ± 0.08	–	–	–	–	–	16.47	0.117	G	–	1
J091900–253350	1.83 ± 0.07	1.2	7.0	0.11	0.09	6.6e24	18.44	0.148	G	–	–
J110957–373220*	0.84	–	48.6	0.08	0.01	–	11.11	0.0101	G	FSRS	Aa,1
J112621–312358	0.94 ± 0.17	–	11.0	0.07	0.05	–	17.88	0.32137	G	–	AeB,1
J114503–325824	0.61±0.09	1.5	13.6	0.08	0.03	2.8e23	13.76	0.03825	G	–	Aae,1
J123449–243232	0.66 ± 0.03	1.4	10.5	0.09	0.05	8.1e24	16.17	0.1813	G	–	Aa,1
J130031–441442*	0.77 ± 0.09	1.4	7.1	0.11	0.09	2.7e23	9.21	0.032	G	–	G,1
J181225–712006	0.69	1.3	13.0	0.04	0.03	4.5e24	16.84	0.199	G	–	Aa,1
J194131–760548	0.71 ± 0.02	–	–	–	–	–	16.53	0.146	G	–	Aae,1
J210925–361557	0.92 ± 0.08	–	14.6	0.07	0.03	–	18.28	0.226	G	–	Aa,1
J220413–465424	1.96	–	13.3	0.12	0.05	–	21.8	0.832	G?	–	–
J225558–103922	0.80 ± 0.10	–	14.1	0.10	0.04	–	20.74	0.616	G?	–	–
J231546–230744	0.93 ± 0.17	–	12.5	0.08	0.04	–	17.05	0.069	G	–	Aae,1

* подробнее об обозначениях см. в разделе 10

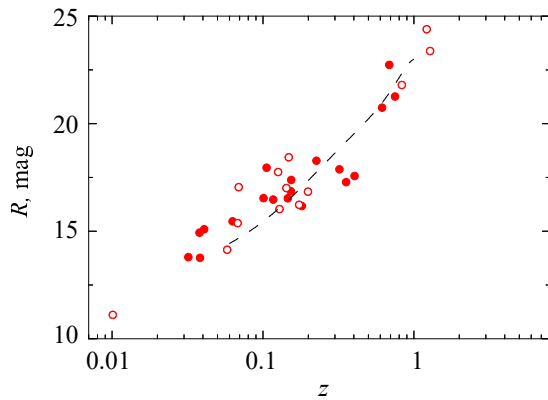


Рис. 9. Зависимость звездной величины от красного смещения для галактик с наименьшими отклонениями R от соотношения Хаббла. Незаполненными красными кружками обозначены R галактик, у которых $\alpha_{\text{below}} \geq 0.7$ и $FWHM \leq 1.35$. Штриховой линией показано соотношение Хаббла, найденное Snellen et al. (1996).

ников, первоначально отождествленных с галактиками, у которых известны красные смещения, только 27 можно считать кандидатами в подлинные HFR-галактики и, возможно, молодыми радиоисточниками. Однако даже среди них есть источники с неуверенным отождествлением (в таблице они помечены знаком вопроса).

Все 27 кандидатов имеют пиковую частоту $\nu_{\text{obs}} > 5$ ГГц, а их радиосветимости на частоте 20 ГГц лежат в диапазоне 10^{23} – 10^{26} Вт/Гц. Источники J003033–581914, J015949–085000, J020835–173934 и J130031–441442 имеют данные на частотах каталогов GLEAM и TGSS и, следовательно, могут быть «перезапущенными» HFR-источниками.

Стоит отметить тот факт, что для части отождествленных с квазарами источников зависимость « $R-z$ » хорошо согласуется с соотношением Хаббла. Этот факт требует более тщательных исследований, прежде всего уточнения типа их родительских объектов. Однако классификация на галактики и квазары, которая основывается на оптической морфологии, не всегда уверена и надежна из-за слабости объектов выборки.

11. ПЕРЕМЕННОСТЬ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ

Для количественных оценок переменности плотностей потоков источников использовалась величина индекса переменности Var_S , которая рассчитывается по формуле (Aller et al., 1992):

$$\text{Var}_S = \frac{(S_{\text{max}} - \sigma_{S_{\text{max}}}) - (S_{\text{min}} + \sigma_{S_{\text{min}}})}{(S_{\text{max}} - \sigma_{S_{\text{max}}}) + (S_{\text{min}} + \sigma_{S_{\text{min}}})}, \quad (4)$$

где S_{max} и S_{min} — максимальные и минимальные значения плотностей потоков, $\sigma_{S_{\text{max}}}$ и $\sigma_{S_{\text{min}}}$ — ошибки измерений плотностей потоков.

Кандидатами в HFR считаются слабопеременные источники, у которых Var_S не превышает 25% (Aller et al., 1992). У подлинных HFR переменность не должна превышать 10% (O’Dea, 1998).

Индекс переменности рассчитывался только для радиоисточников, имеющих в базе данных CATS сведения о плотностях потоков, а также данные об ошибках измерений.

Список источников, удовлетворяющих этим требованиям, чьи индексы переменности на масштабах нескольких лет составили больше 10%, указаны в таблице 7.

Был выявлен 21 источник, чей индекс переменности Var_S составил более чем 10%. Переменность 25% и выше удалось установить у семи радиоисточников:

J050555–293038, J094219–231703,
J095727–015655, J153851–165526,
J201115–154640, J205625–320845

и J235311–274324. Все они относятся к квазарам, пять из них являются блазарами.

Еще один источник, J002616–351249, считается переменным, исходя из данных на частоте 95 ГГц (AT95G) (Hancock et al., 2010) и на частотах миссии WMAP (Bennett et al., 2003; Massardi et al., 2009; Wright et al., 2009): 22% и 38% на 33 и 61 ГГц соответственно. Индекс переменности источника J002616–351249 на частоте 95 ГГц, рассчитанный по данным из работы Hancock et al. (2010) по формуле (4), составил 37%.

Отметим, что половина представленных в таблице радиоисточников имеют данные в каталогах TGSS и GLEAM, то есть могут принадлежать к радиоисточникам, у которых наблюдается нетепловое излучение долей на масштабах от кпк до Мпк.

У объектов J050555–293038, J095727–015655, J153851–165526 и J201115–154640 переменность наблюдается на частотах выше частоты пика. Такая картина характерна для излучения джета, поэтому данные источники не являются подлинными HFR.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью изучения спектральных свойств радиоисточников с высокочастотными пиками в спектре была сформирована выборка источников из каталога AT20G, чьи спектральные индексы α_{below} , характеризующие излучение в оптически толстой среде, превышают +0.5. Выборка включает 269 источников, большинство из которых (около 70%) относится к квазарам, примерно 25% являются

Таблица 7. Список источников выборки с индексами переменности $\text{Var}_S \geq 10\%$. В колонках таблицы указаны: (1) — имя объекта; (2) — величина индекса переменности Var_S ; (3) — частота ν_{var} , на которой рассчитывался индекс переменности; (4) — пиковая частота ν_{obs} ; (5) — название каталога, из которого была получена информация о плотностях потоков; (6) — ссылки на литературу. Звездочками отмечены радиоисточники, которые имеют данные в каталогах TGSS и GLEAM

NVSS name	Var_S , %	ν_{var} , GHz	ν_{obs} , GHz	Каталог	Ссылка
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
J012407–730904	14	4.8	6.5	ATPMN	[1]
J034941–540106	10	4.8	6.2	ATPMN	[1]
J042203–562127	22	4.8	9.0	ATPMN	[1]
J050555–293038*	30	21.0	6.0	GPS2	[2]
J080633–291135	17	4.8	5.0	GPS2	[2]
J094219–231703*	48	3.0	–	VLASS	[3]
J095727–015655	25	15.0	6.8	CGR15	[4]
J110957–373220*	17	20.0	48.6	AT95G	[5]
J111719–483809*	11	20.0	29.2	AT95G	[5]
J112953–024006	22	15.0	9.2	CGR15	[4]
J113143–581853	19	4.8	9.2	ATPMN	[1]
J142741–330531*	11	20.0	89.8	AT95G	[5]
J153851–165526	27	15.0	8.9	CGR15	[4]
J200324–042137	10	15.0	6.1	CGR15	[4]
J201115–154640*	27	90.0	20.8	SEST3	[6]
J201500–671258	12	18.5	15.3	ATC18	[7]
J205625–320845*	98	3.0	39.1	VLASS	[3]
J212402–602808*	15	20.0	12.5	AT95G	[5]
J223015–132543*	16	15.0	14.1	CGR15	[4]
J230737–354828	12	20.0	19.8	AT95G	[5]
J235311–274324*	76	3.0	16.6	VLASS	[3]

Ссылки: [1] McConnell et al. (2012), [2] Sotnikova et al. (2019), [3] Lacy et al. (2020), [4] Richards et al. (2011), [5] Sadler et al. (2008), [6] Tornikoski et al. (1996), [7] Ricci et al. (2004).

блазарами. Численность галактик в 2.5 раза меньше, чем квазаров.

Используя сведения о плотностях потоков источников из базы данных CATS (Verkhodanov et al., 1993; 2005), мы построили спектры для

всех объектов выборки и определили их основные параметры: спектральные индексы излучения в оптически толстой и тонкой средах (α_{below} и α_{above}), частоты пика в системе координат наблюдателя (ν_{obs}) и в системе координат источника (ν_{int}), плотности потоков на частоте пика (S_{peak}), полуширины спектров ($FWHM$). Отметим, что при построении спектров зачастую мы опирались на разнородные данные, полученные на разных телескопах и в разные эпохи наблюдений.

Практически все источники выборки — это HFR-радиоисточники, если в качестве критерия HFR использовать только ограничение на частоту пика $\nu_{\text{obs}} \geq 5$ ГГц. У большинства источников плотности потоков меньше 0.3 Ян. Инвертированные спектры имеются у 43 источников в рассматриваемом диапазоне частот.

Около 70% радиоисточников выборки не имеют данных о плотностях потоков в низкочастотной области спектра, а именно на частотах каталогов GLEAM (Hurley-Walker et al., 2017) и TGSS (Intema et al., 2017). Средние величины α_{below} источников этой группы на 30% больше, чем у источников с данными о плотностях потоков на частотах ниже 0.8–1.4 ГГц, а средние значения пиковых плотностей потоков и пиковых частот ν_{obs} соответственно на 24% и 37% меньше.

Проведено сравнение параметров спектров источников, отождествленных с галактиками и квазарами. Распределения α_{below} этих популяций имеют практически одинаковые величины максимумов (0.70 ± 0.03 у квазаров и 0.73 ± 0.02 у галактик) и $FWHM$. При этом средние величины α_{below} галактик примерно на 8% выше, чем квазаров. В работе Mingaliev et al. (2013) эта разница составила около 10%.

Средние значения пиковых частот ν_{int} квазаров и галактик существенно различаются: 40.4 и 28.9 ГГц соответственно. То же относится к медианным значениям z (0.15 и 1.0) и пиковым плотностям потоков.

У большинства галактик пиковые плотности потоков меньше 0.2 Ян, у квазаров — меньше 0.4 Ян. Подавляющее большинство галактик — это радиоисточники, для которых отсутствуют данные на частотах ниже 0.8 ГГц.

Мы сравнили характеристики галактик и квазаров нашей выборки с результатами, полученными в работе Hancock (2009), где анализируется выборка из 656 GPS-источников каталога AT20G. Выборка в работе Hancock (2009) была сформирована с учетом ограничения на частоту пика $\nu_{\text{obs}} > 5$ ГГц.

Сравнение показало, что в выборках практически совпали доли квазаров и галактик, а также близкими оказались средние величины красных смещений галактик и квазаров.

При этом средние величины плотностей потоков галактик и квазаров нашей выборки почти в два раза меньше, чем в работе Hancock (2009). Кроме того, частоты пика источников выборки из Hancock (2009) лежат в диапазоне 8–15 ГГц, в то время как у большинства источников нашей выборки диапазон пиковых частот ν_{obs} составляет 5–50 ГГц.

Среди радиоисточников нашей выборки было найдено 187 источников с ультраинвертированными спектрами, у которых $\alpha_{\text{below}} \geq +0.7$. Такие источники являются наиболее вероятными кандидатами в НФР, а их спектры могут указывать на молодость радиоисточников (Murphy et al., 2010). Источники с ультраинвертированными спектрами составили 3.2% от всех источников каталога AT20G и 70% от всех источников нашей выборки. При этом 42 из них имеют данные на частотах каталогов TGSS и GLEAM.

Сделаны оценки радиосветимостей на частоте 20 ГГц, угловых размеров излучающих областей и линейных размеров радиоисточников выборки. Диапазоны изменения радиосветимостей галактик и квазаров выборки на частоте 20 ГГц совпали с полученными в работе Mahony et al. (2011), как и характер зависимости L_ν от ν . Для галактик диапазон изменения радиосветимостей составил 10^{23} – 10^{26} Вт Гц⁻¹, для квазаров — 10^{26} – 10^{30} Вт Гц⁻¹.

Величины θ лежат в диапазоне 0.002–0.25 мсд, что существенно меньше, чем в работах Fanti et al. (1990), Stanghellini et al. (1990a) и Sotnikova et al. (2019); линейные размеры LS варьируются от 0.2 до 30 пк.

Наибольшие сложности возникли с оценками переменности источников. Спектры многих источников не очень информативны. Например, нет данных в оптически тонкой части спектра или они очень малочисленны. Хотя в выборке много блазаров и источников с плоскими спектрами, для многих из них в базе данных CATS нет сведений об ошибках измерений плотностей потоков. Поэтому индекс переменности удалось оценить только для очень ограниченного числа объектов, у которых в базе данных CATS имелись данные о плотностях потоков и среднеквадратичных ошибках, полученные на одном телескопе в течение некоторого промежутка времени и хотя бы на одной частоте. У 21 источника индекс переменности $\text{Var}_S \geq 10\%$, у семи квазаров, пять из которых являются блазарами, — свыше 25%.

Сложности с оценками переменности повлияли и на возможность выявить в выборке источники, которые можно считать подлинными НФР. Согласно критериям, изложенным в работе Hancock et al. (2010), подлинными НФР, кроме

условия $\nu_{\text{peak}} > 5$ ГГц, должны обладать слабой переменностью плотности потока, компактной радиоморфологией, а также их оптический спектр должен отличаться от спектра, наблюдаемого у блазаров. В нашей выборке, состоящей в основном из квазаров (блазаров) и источников с плоскими спектрами, подлинных НФР, скорее всего, будет очень мало, и выявить их будет довольно сложно. Потребуется дополнительная информация об их оптических свойствах, морфологии и переменности на больших временных масштабах. Искать их, вероятно, следует среди галактик, как обладающих меньшей переменностью.

В настоящей работе для галактик выборки были построены зависимости звездной величины в полосе R от красного смещения. Путем сравнения этой зависимости с соотношением Хаббла, найденным Снелленом в работе Snellen et al. (1996), было выявлено 27 галактик, у которых отклонения R от этого соотношения невелики (меньше $\pm 2^m 5$). Эти галактики можно считать кандидатами в подлинных НФР и, возможно, кандидатами в молодые радиоисточники. Просмотрев спектры источников выборки, мы обнаружили примерно столько же объектов (около 25), у которых нет явных признаков переменности и нет надежных данных, что они являются FSRS. В основном это галактики. Однако утверждать, что они являются подлинными НФР, рано. Требуется дополнительные исследования.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания CAO РАН, утвержденного Министерством науки и высшего образования Российской Федерации. В работе были задействованы ресурсы CATS, NED IPAC и VizieR. При построении радиоспектров использовалась база данных радиоастрономических каталогов CATS (https://www.sao.ru/cats/doc/CATS_descr.html), а также применялась система обработки радиоастрономических данных FADPS.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа финансировалась за счет средств бюджета CAO РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

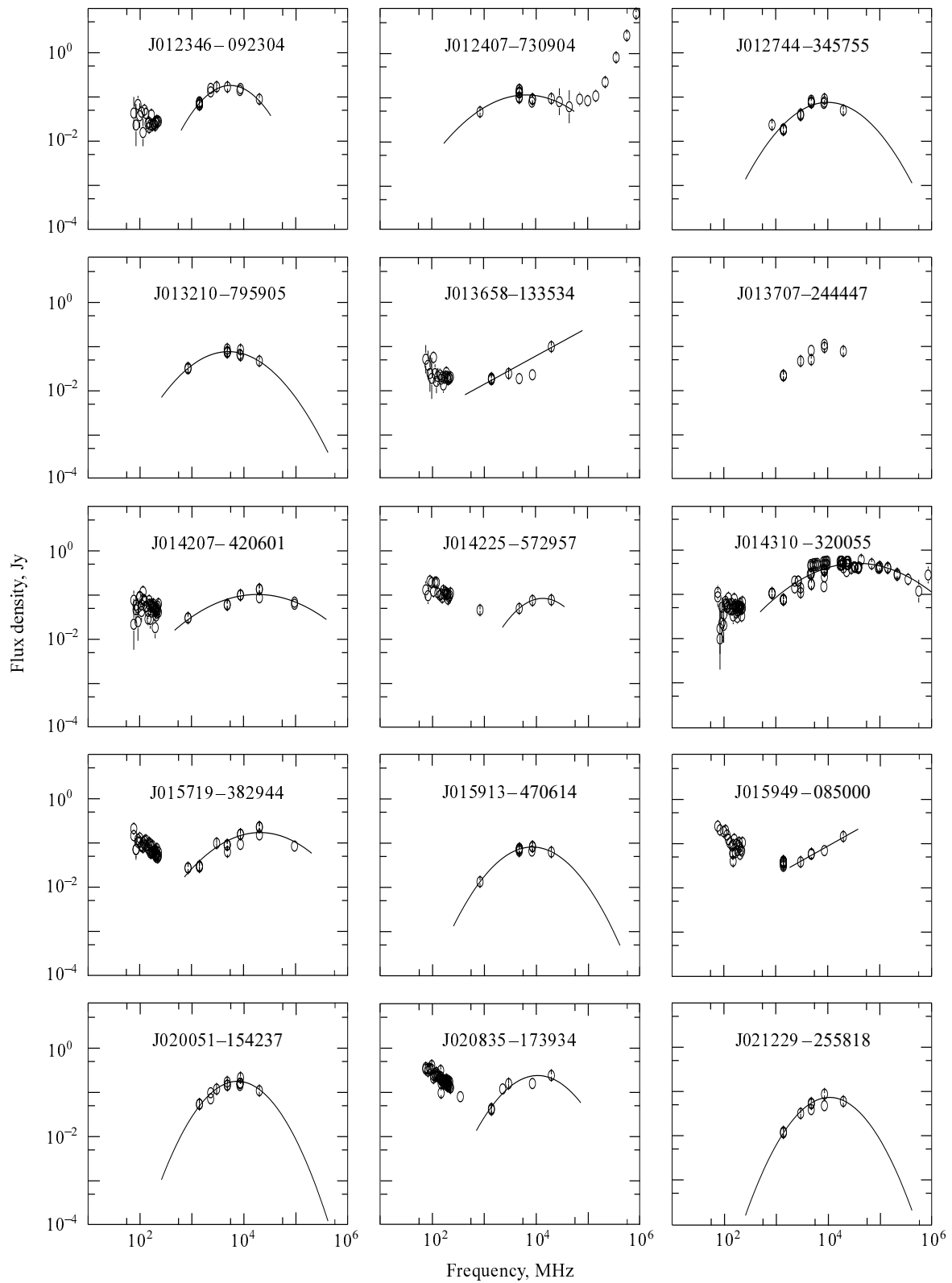


Рис. А1. Примеры спектров источников сформированной выборки.

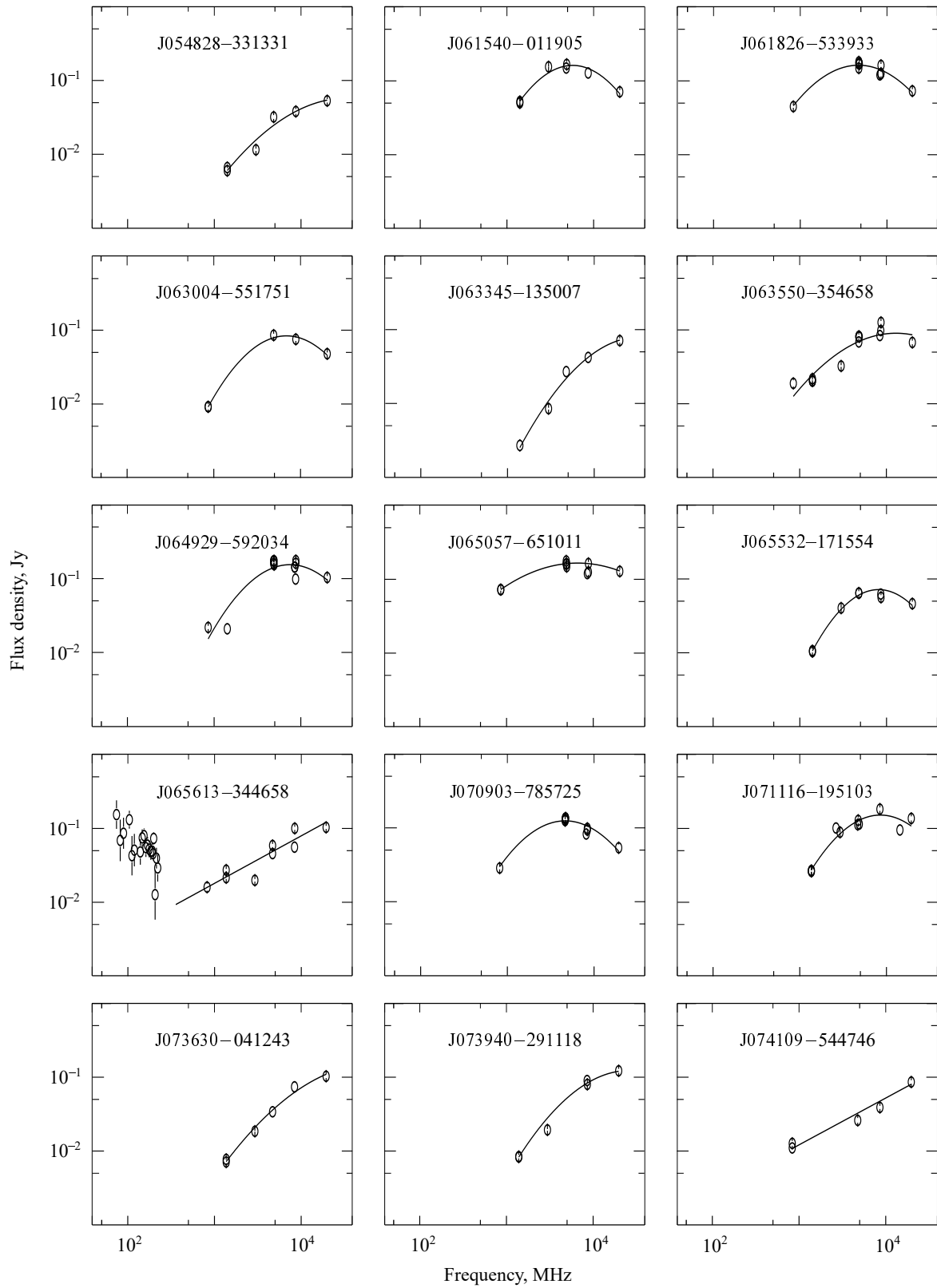


Рис. А1. Продолжение.

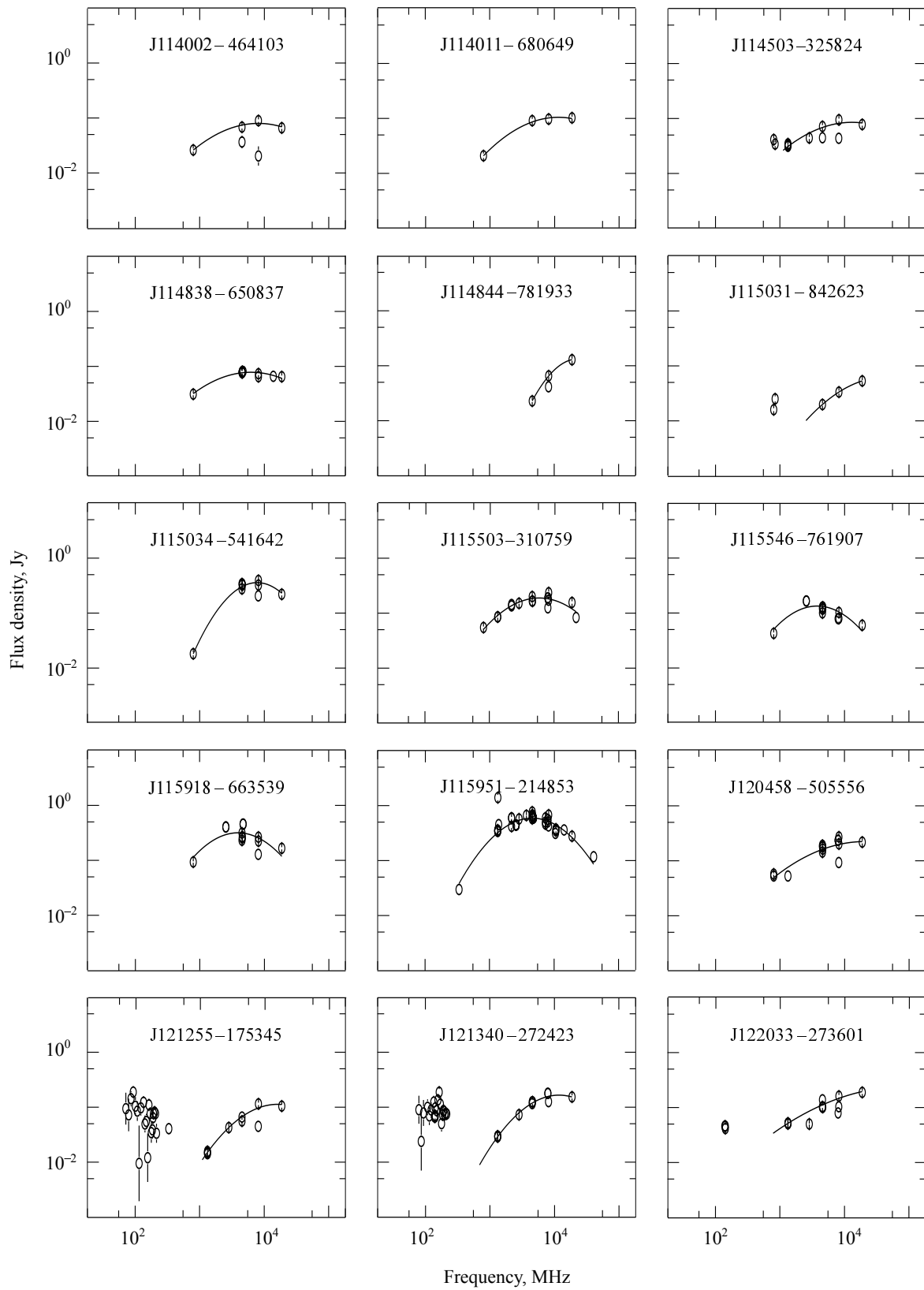


Рис. А1. Продолжение.

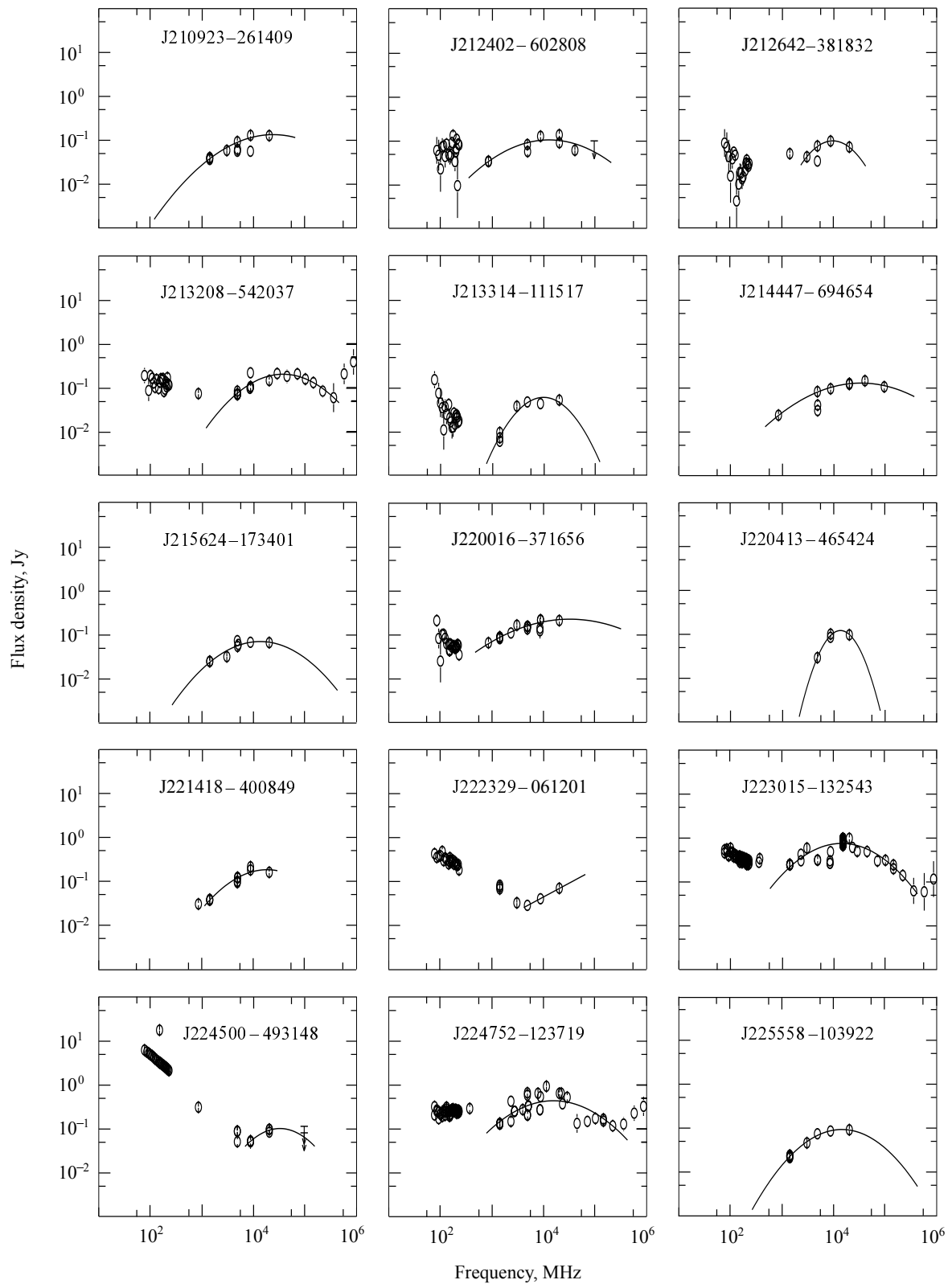


Рис. А1. Продолжение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. A. R. Ade et al. (Planck Collab.), *Astron. and Astrophys.* **571**, id. A28 (2014). DOI:10.1051/0004-6361/201321524
2. N. Aghanim et al. (Planck Collab.), *Astron. and Astrophys.* **641**, id. A6 (2020). DOI:10.1051/0004-6361/201833910
3. P. Alexander, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **319** (1), 8 (2000). DOI:10.1046/j.1365-8711.2000.03711.x
4. M. F. Aller, H. D. Aller, and P. A. Hughes, *Astrophys. J.* **399**, 16 (1992). DOI:10.1086/171898
5. P. D. Barthel, *Astrophys. J.* **336**, 606 (1989). DOI:10.1086/167038
6. S. A. Baum, C. P. O'Dea, D. W. Murphy, and A. G. de Bruyn, *Astron. and Astrophys.* **232**, 19 (1990).
7. C. L. Bennett, M. Halpern, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148** (1), 1 (2003). DOI:10.1086/377253
8. G. Blumenthal and G. Miley, *Astron. and Astrophys.* **80**, 13 (1979).
9. D. C. J. Bock, M. I. Large, and E. M. Sadler, *Astron. J.* **117** (3), 1578 (1999). DOI:10.1086/300786
10. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astron. J.* **115** (5), 1693 (1998). DOI:10.1086/300337
11. D. Dallacasa, C. Stanghellini, M. Centonza, and R. Fanti, *Astron. and Astrophys.* **363**, 887 (2000). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/0012428
12. C. De Breuck, Y. Tang, A. G. de Bruyn, et al., *Astron. and Astrophys.* **394**, 59 (2002). DOI:10.1051/0004-6361:20021115
13. W. H. de Vries, P. D. Barthel, and C. P. O'Dea, *Astron. and Astrophys.* **321**, 105 (1997).
14. P. G. Edwards and S. J. Tingay, *Astron. and Astrophys.* **424**, 91 (2004). DOI:10.1051/0004-6361:20035749
15. C. Fanti, R. Fanti, D. Dallacasa, et al., *Astron. and Astrophys.* **302**, 317 (1995).
16. C. Fanti, F. Pozzi, R. Fanti, et al., *Astron. and Astrophys.* **358**, 499 (2000). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/0005035
17. R. Fanti, C. Fanti, R. T. Schilizzi, et al., *Astron. and Astrophys.* **231**, 333 (1990).
18. Y. A. Gordon, M. M. Boyce, C. P. O'Dea, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **255** (2), id. 30 (2021). DOI:10.3847/1538-4365/ac05c0
19. C. L. Hale, D. McConnell, A. J. M. Thomson, et al., *Publ. Astron. Soc. Australia* **38**, article id. e058 (2021). DOI:10.1017/pasa.2021.47
20. N. C. Hambly, H. T. MacGillivray, M. A. Read, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **326** (4), 1279 (2001). DOI:10.1111/j.1365-2966.2001.04660.x
21. P. J. Hancock, *Astronomische Nachrichten* **330** (2), 180 (2009). DOI:10.1002/asna.200811151
22. P. J. Hancock, P. Roberts, M. J. Kesteven, et al., *Experimental Astronomy* **32** (2), 147 (2011). DOI:10.1007/s10686-011-9257-y
23. P. J. Hancock, E. M. Sadler, E. K. Mahony, and R. Ricci, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **408** (2), 1187 (2010). DOI:10.1111/j.1365-2966.2010.17199.x
24. G. Helou, B. F. Madore, M. Schmitz, et al., *Astrophysics and Space Science Library*, **203**, 95 (1995). DOI:10.1007/978-94-011-0397-8_10
25. N. Hurley-Walker, J. R. Callingham, P. J. Hancock, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **464** (1), 1146 (2017). DOI:10.1093/mnras/stw2337
26. H. T. Intema, P. Jagannathan, K. P. Mooley, and D. A. Frail, *Astron. and Astrophys.* **598**, id. A78 (2017). DOI:10.1051/0004-6361/201628536
27. K. I. Kellermann and I. I. K. Pauliny-Toth, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **19**, 373 (1981a). DOI:10.1146/annurev.aa.19.090181.002105
28. K. I. Kellermann and I. I. K. Pauliny-Toth, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **19**, 373 (1981b). DOI:10.1146/annurev.aa.19.090181.002105
29. M. Lacy, S. A. Baum, C. J. Chandler, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **132** (1009), id. 035001 (2020). DOI:10.1088/1538-3873/ab63eb
30. E. K. Mahony, E. M. Sadler, S. M. Croom, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **417** (4), 2651 (2011). DOI:10.1111/j.1365-2966.2011.19427.x
31. A. Marecki, R. E. Spencer, and M. Kunert, *Publ. Astron. Soc. Australia* **20** (1), 46 (2003). DOI:10.1071/AS02051
32. M. Massardi, R. D. Ekers, T. Murphy, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **412** (1), 318 (2011). DOI:10.1111/j.1365-2966.2010.17917.x
33. M. Massardi, M. López-Cañiego, J. González-Nuevo, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **392** (2), 733 (2009). DOI:10.1111/j.1365-2966.2008.14084.x
34. E. Massaro, P. Giommi, C. Leto, et al., *Astron. and Astrophys.* **495** (2), 691 (2009). DOI:10.1051/0004-6361:200810161
35. T. Mauch, T. Murphy, H. J. Buttery, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **342** (4), 1117 (2003). DOI:10.1046/j.1365-8711.2003.06605.x
36. D. McConnell, E. M. Sadler, T. Murphy, and R. D. Ekers, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **422** (2), 1527 (2012). DOI:10.1111/j.1365-2966.2012.20726.x
37. G. Miley and C. De Breuck, *Astron. and Astrophys.* **15** (2), 67 (2008). DOI:10.1007/s00159-007-0008-z
38. M. G. Mingaliev, Y. V. Sotnikova, T. V. Mufakharov, et al., *Astrophysical Bulletin* **68** (3), 262 (2013). DOI:10.1134/S1990341313030036
39. M. G. Mingaliev, Y. V. Sotnikova, I. Tornainen, et al., *Astron. and Astrophys.* **544**, id. A25 (2012). DOI:10.1051/0004-6361/201118506
40. T. Murphy, E. M. Sadler, R. D. Ekers, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **402** (4), 2403 (2010). DOI:10.1111/j.1365-2966.2009.15961.x
41. R. L. Mutel, M. W. Hodges, and R. B. Phillips, *Astrophys. J.* **290**, 86 (1985). DOI:10.1086/162961

42. F. Ochsenbein, P. Bauer, and J. Marcout, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 23 (2000). DOI:10.1051/aas:2000169
43. C. P. O'Dea, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **110** (747), 493 (1998). DOI:10.1086/316162
44. C. P. O'Dea and S. A. Baum, *Astron. J.* **113**, 148 (1997). DOI:10.1086/118241
45. C. P. O'Dea, S. A. Baum, and C. Stanghellini, *Astrophys. J.* **380**, 66 (1991). DOI:10.1086/170562
46. K. Olsen, A. Bolton, S. Juneau, et al., arXiv e-prints astro-ph:1908.00664 (2019). DOI:10.48550/arXiv.1908.00664
47. M. Orienti and D. Dallacasa, *Astron. and Astrophys.* **477** (3), 807 (2008). DOI:10.1051/0004-6361:20078098
48. M. Orienti and D. Dallacasa, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **438** (1), 463 (2014). DOI:10.1093/mnras/stt2217
49. M. Orienti, D. Dallacasa, and C. Stanghellini, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **408** (2), 1075 (2010). DOI:10.1111/j.1365-2966.2010.17179.x
50. M. Orienti, D. Dallacasa, S. Tinti, and C. Stanghellini, *Astron. and Astrophys.* **450** (3), 959 (2006). DOI:10.1051/0004-6361:20054656
51. A. C. S. Readhead, G. B. Taylor, W. Xu, et al., *Astrophys. J.* **460**, 612 (1996). DOI:10.1086/176996
52. R. Ricci, E. M. Sadler, R. D. Ekers, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **354** (1), 305 (2004). DOI:10.1111/j.1365-2966.2004.08197.x
53. J. L. Richards, W. Max-Moerbeck, V. Pavlidou, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **194** (2), article id. 29 (2011). DOI:10.1088/0067-0049/194/2/29
54. L. Rudnick and T. W. Jones, *Astrophys. J.* **255**, 39 (1982). DOI:10.1086/159800
55. E. M. Sadler, R. Ricci, R. D. Ekers, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **385** (3), 1656 (2008). DOI:10.1111/j.1365-2966.2008.12955.x
56. A. Siemiginowska, C. C. Cheung, S. LaMassa, et al., *Astrophys. J.* **632** (1), 110 (2005). DOI:10.1086/432871
57. I. A. G. Snellen, M. N. Bremer, R. T. Schilizzi, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **279** (4), 1294 (1996). DOI:10.1093/mnras/279.4.1294
58. I. A. G. Snellen, M. D. Lehnert, M. N. Bremer, and R. T. Schilizzi, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **337** (3), 981 (2002). DOI:10.1046/j.1365-8711.2002.05978.x
59. I. A. G. Snellen, R. T. Schilizzi, G. K. Miley, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **319** (2), 445 (2000). DOI:10.1046/j.1365-8711.2000.03935.x
60. Y. V. Sotnikova, T. V. Mufakharov, E. K. Majorova, et al., *Astrophysical Bulletin* **74** (4), 348 (2019). DOI:10.1134/S1990341319040023
61. C. Stanghellini, *Publ. Astron. Soc. Australia* **20** (1), 118 (2003). DOI:10.1071/AS02055
62. C. Stanghellini, D. Dallacasa, and M. Orienti, *Astronomische Nachrichten* **330** (2), 223 (2009). DOI:10.1002/asna.200811162
63. C. Stanghellini, C. P. O'Dea, S. A. Baum, R. Fanti in *Proc. Workshop on Compact Steep-Spectrum & GHz-peaked Spectrum Radio Sources, Dwingeloo, Netherlands, 1990*, Ed. by C. Fanti, R. Fanti, and C. P. O'Dea, (Istituto di Radioastronomia, Bologna, 1990a), p. 17.
64. C. Stanghellini, C. P. O'Dea, D. Dallacasa, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **131**, 303 (1998). DOI:10.1051/aas:1998270
65. L. Stanghellini, S. Starrfield, and A. N. Cox, *Astron. and Astrophys.* **233**, L13 (1990b).
66. A. G. G. M. Tielens, G. K. Miley, and A. G. Willis, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **35**, 153 (1979).
67. S. J. Tingay and M. de Kool, *Astron. J.* **126** (2), 723 (2003a). DOI:10.1086/376600
68. S. J. Tingay and M. de Kool, *Astron. J.* **126** (2), 723 (2003b). DOI:10.1086/376600
69. S. Tinti, D. Dallacasa, G. De Zotti, et al., arXiv e-prints astro-ph/0309354 (2003). DOI:10.48550/arXiv.astro-ph/0309354
70. S. Tinti, D. Dallacasa, G. de Zotti, et al., *Astron. and Astrophys.* **432** (1), 31 (2005). DOI:10.1051/0004-6361:20041620
71. I. Tornainen, M. Tornikoski, A. Lähteenmäki, et al., *Astron. and Astrophys.* **469** (2), 451 (2007). DOI:10.1051/0004-6361:20066892
72. I. Tornainen, M. Tornikoski, M. Turunen, et al., *Astron. and Astrophys.* **482** (2), 483 (2008). DOI:10.1051/0004-6361:20079222
73. M. Tornikoski, E. Valtaoja, H. Teraesranta, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **116**, 157 (1996).
74. C. M. Urry and P. Padovani, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **107**, 803 (1995). DOI:10.1086/133630
75. W. van Breugel, in *Proc. IAU Symp. No. 110*, Ed. by R. Fanti, K. I. Kellermann, and G. Setti (D. Reidel Publ. Company, Dordrecht 1984), p. 59.
76. O. V. Verkhodanov, *ASP Conf. Ser.*, **125**, 46 (1997).
77. O. V. Verkhodanov, B. L. Erukhimov, M. L. Monosov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **36**, 132 (1993).
78. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005). DOI:10.48550/arXiv.0705.2959
79. R. C. Vermeulen, E. Ros, K. I. Kellermann, et al., *Astron. and Astrophys.* **401**, 113 (2003). DOI:10.1051/0004-6361:20021752
80. A. C. Villarreal Hernández and H. Andernach, arXiv e-prints astro-ph:1808.07178 (2018). DOI:10.48550/arXiv.1808.07178
81. M. Wenger, F. Ochsenbein, D. Egret, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 9 (2000). DOI:10.1051/aas:2000332
82. E. L. Wright, X. Chen, N. Odegard, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **180** (2), 283 (2009). DOI:10.1088/0067-0049/180/2/283

High-Frequency Peaked Radio Sources (HFP) from AT20G Catalog and Their Radio Spectra

E. K. Majorova¹ and O. P. Zhelenkova¹

¹ Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167, Russia

We present a sample of High-Frequency Peaked Radio Source (HFP) candidates from the AT20G catalog with spectral indices of the optically thick emission region α_{below} exceeding +0.5, aimed to study their spectral properties. The sample includes 269 objects, about 70% of which are quasars. Using the CATS database, we construct the spectra of the sources and determine their main parameters: the spectral indices below and above the peak (α_{below} , α_{above}), the peak frequencies ν_{obs} , the flux densities at the peak frequency S_{peak} , and the half-widths of the peak in the radio spectra. The spectral flux densities of the sources were obtained at different telescopes and often over different observation epochs. The spectral analysis shows that we are dealing with a sample consisting of HFP sources, whose properties are fairly uniform and whose peak frequencies are $\nu_{\text{obs}} > 5$ GHz. Most of the sources (67%) have no data at the frequencies below 0.8 GHz. One hundred eighty-seven sources have ultra-inverted spectra ($\alpha_{\text{below}} > +0.7$), which make up 3.2% of all the sources in the AT20G catalog and 70% of all the sources in our sample. The calculations show that the sample consists of compact objects, whose radio luminosity at the frequency of 20 GHz lies in the range of 10^{23} – 10^{30} W/Hz, the angular sizes of the emitting regions of the sources are 0.002–0.25 mas, the linear sizes are from 0.2 to 30 pc. The dependence of the intrinsic peak frequencies of radio sources from their angular sizes is in a good agreement with that previously discovered during the observations of the CSS and GPS objects. Based on the information provided by the CATS database, the radio source variability indices are estimated. A variability of 25% or higher was found for seven quasars, five of which are blazars. A comparison of the redshift dependences of R -band magnitudes reveals that most of the HFP galaxies in our sample follow the Hubble relation earlier obtained for the GPS galaxies, and can hence be candidates “young” radio source candidates.

Keywords: *galaxies: quasars: general; radio continuum: general*